

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELÉCTRÓNICA

**ESQUEMA DE TRANSFERENCIA DE CARGA PARA LA RED
ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN DEL CAMPUS DE LA ESCUELA
POLITÉCNICA NACIONAL.**

**“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE COSTOS DE UN ESQUEMA DE
TRANSFERENCIA DE CARGA PARA LA RED ELÉCTRICA DE
DISTRIBUCIÓN DEL CAMPUS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA
NACIONAL.”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

GABRIEL ALEJANDRO PIMBO GALARZA

gabriel.pimbo@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. HUGO NEPTALÍ ARCOS MARTÍNEZ

hugo.arcos@epn.edu.ec

DMQ, julio 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Gabriel Alejandro Pimbo Galarza declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sr. GABRIEL ALEJANDRO PIMBO GALARZA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Gabriel Alejandro Pimbo Galarza, bajo mi supervisión.

DR. HUGO ARCOS
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

GABRIEL ALEJANDRO PIMBO GALARZA

HUGO NEPTALÍ ARCOS MARTÍNEZ

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mi madre, cuyo amor, sacrificio y apoyo incondicional han hecho posible un logro más dentro de mi vida. A pesar de los obstáculos nunca dudo de mis capacidades invirtiendo su tiempo y esfuerzo en mi crecimiento personal y profesional.

También va dedicado a mi abuelita y a mi princesa que a pesar de que no ya no se encuentren físicamente a mi lado fueron motivo de inspiración para no rendirme y seguir adelante cada día. A si mismo a mis dos padres Giovanni y Pedro que me dieron grandes enseñanzas que me formaron como hombre y como la persona que soy ahora. Y por último a mi abuelito por siempre estar pendiente de mi progreso y sus palabras de aliento para no desmayar en los momentos más duros.

Con todo el amor del mundo se los dedico a ustedes..... Gracias por siempre estar a mi lado en las buenas y en las malas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mis padres, cuyo amor y apoyo incondicional han sido mi mayor fortaleza en este viaje, por darme las herramientas para poder afrontar los caminos y retos que me ha puesto la vida y a pesar de todo eso nunca rendirme con lo que me propuesto y siempre llegar al límite para alcanzar mis objetivos.

A mi familia que siempre me han hecho sentir su cariño y apoyo.

A mis amigos de toda la vida Esteban, Santi, Gabo, Alex, que siempre confiaron en que podía salir victorioso de este reto que me propuse.

A mi amigos y compañeros de universidad Alex Hidalgo, Jose Valencia y Alejandro Medina que sin su ayuda y compañía durante este trayecto no hubiera sido posible obtener.

A mi compañera y confidente Camila Aguilar que durante estos 6 últimos años que siempre confió en mis capacidades y me dio varias alegrías.

Agradezco al Doctor Hugo Arcos por tomarme en consideración para este proyecto de trabajo de integración curricular y guiarme durante todo el proceso, también agradezco al Ing. Juan Ramírez por la ayuda durante el desarrollo del proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco Teórico.....	2
1.4.1 REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN.....	3
1.4.2 ALIMENTADOR Y SUS ASPECTOS PRINCIPALES.	6
1.4.3 TRANSFERENCIA DE CARGA.	8
2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CAMPUS DE LA EPN	11
2.1 RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EXISTENTE. .	11
2.2 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL SISTEMA.	13
2.3 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES CARGAS.	18
2.4 MODELACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - diagnóstico.	22
3 PROPUESTA DE ESQUEMA DE TRANSFERENCIA DE CARGA PARA EL CAMPUS POLITÉCNICO.	25
3.1 SELECCIÓN Y DETALLES TÉCNICOS DE LOS CONDUCTORES..	26
3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y UBICACIÓN DE LAS CELDAS Y CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO.....	27
3.3 GRUPOS ELECTRÓGENOS DE RESPALDO PARA EDIFICIOS ANTE RACIONAMIENTO DE ENERGÍA.	28
3.4 ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO DEL ESQUEMA DE TRANFERENCIA DE CARGA	30
4 RESULTADOS	33

4.1	ANÁLISIS DE MEDICIONES ELÉCTRICAS - CAMARAS DE TRANSFORMACIÓN.....	33
4.1.1	Perfiles de Voltaje (RMS).....	33
4.1.2	Perfiles de Corriente (RMS).....	36
4.1.3	Perfiles de Carga (Curva de Demanda Media).....	38
4.1.4	Perfil de Carga Máxima (Transformador).	41
4.2	ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA	44
4.2.1	FLUJO DE POTENCIA CON TRANSFERENCIA DE CARGA DEL ALIMENTADOR 12-A HACIA EL ALIMENTADOR 32-E.....	46
4.2.2	FLUJO DE POTENCIA CON TRANSFERENCIA DE CARGA DESDE EL ALIMENTADOR 32-E HACIA EL ALIMENTADOR 12-A.	47
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
5.1	CONCLUSIONES.....	50
5.2	RECOMENDACIONES	51
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
7	ANEXOS	54

RESUMEN

El análisis detallado de la red eléctrica del Campus de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) se lleva a cabo mediante simulaciones de flujos de potencia en los alimentadores A y E de la Subestación Diez Nueva, así como en el alimentador A de la Subestación La Floresta. Estas simulaciones permiten identificar con precisión la capacidad actual de la red y áreas específicas que podrían beneficiarse de mejoras. Según los resultados obtenidos en el diagnóstico, se desarrolla un esquema de transferencia de carga que aborda las necesidades y desafíos identificados. El objetivo principal es presentar un diseño detallado que constituya el aporte central del proyecto, proporcionando una solución práctica y viable para optimizar la distribución de energía en el Campus.

Finalmente, se realiza una evaluación de los costos asociados a la implementación del esquema propuesto. Esta evaluación incluye los principales componentes, desde equipos y materiales hasta mano de obra y mantenimiento. El análisis de costos proporciona una visión integral de la viabilidad económica del proyecto, asegurando que las soluciones sean tanto técnicamente sólidas como financieramente viables.

PALABRAS CLAVE: red eléctrica, esquema de transferencia, evaluación de costos.

ABSTRACT

The detailed analysis of the electrical network of the Escuela Politécnica Nacional (EPN) Campus is conducted through power flow simulations on feeders A and E from the Diez Nueva Substation, as well as feeder A from the La Floresta Substation. These simulations precisely identify the current capacity of the network and specific areas that could benefit from improvements. Based on the diagnostic results, a load transfer scheme is developed to address identified needs and challenges. The primary objective is to present a detailed design that constitutes the project's central contribution, providing a practical and viable solution to optimize energy distribution on the Campus.

Finally, a cost evaluation is conducted for the proposed scheme's implementation. This evaluation includes major components such as equipment, materials, labor, and maintenance. The cost analysis provides a comprehensive view of the project's economic feasibility, ensuring that the solutions are both technically sound and financially viable.

KEYWORDS: electrical network, transfer scheme, cost evaluation.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Un sistema eléctrico de potencia engloba las etapas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Una significativa porción de la inversión total del sistema de potencia se destina a la etapa de distribución, destacándose la importancia de realizar un cuidadoso trabajo en su planificación, diseño, construcción y operación, tareas complejas de gran importancia en el objetivo de un servicio eléctrico confiable [1]. También es importante señalar que la etapa de distribución es donde se registra la mayoría de las pérdidas de energía en sus diversas formas, debido al considerable número de elementos que la componen y a los bajos niveles de voltaje de estas redes [1][2].

La Escuela Politécnica Nacional, en su Campus Rubén Orellana, se enfrentó a desafíos significativos durante la crisis energética que afectó al país entre los meses de noviembre y diciembre de 2023. Durante este período crítico, los racionamientos programados en los alimentadores primarios A y E de la Subestación Diez Nueva (32) y en el alimentador primario A de la Subestación La Floresta (12) resultaron en desconexiones programadas que impactaron negativamente en las operaciones y actividades cotidianas de la institución.

Estas desconexiones no solo afectaron la continuidad del servicio eléctrico, sino que también revelaron una deficiencia fundamental en la planificación de la red eléctrica interna del Campus. La falta de un sistema de transferencia de carga eficiente expuso la vulnerabilidad del Campus ante eventos programados de desconexión, como los llevados a cabo por la Empresa Eléctrica Quito, y evidenció la necesidad apremiante de implementar medidas que mitiguen estos impactos adversos.

El presente Trabajo de Integración Curricular propone una respuesta técnica para abordar las deficiencias identificadas, mediante la implementación de un esquema de transferencia de carga que permita dar una mayor continuidad al servicio eléctrico en el Campus de la EPN. Este enfoque no solo busca corregir las deficiencias actuales, sino también establecer un sistema eléctrico operativamente flexible que pueda hacer frente a futuras crisis energéticas o eventuales fallas en las redes de distribución interna o externa (alimentadores-EEQ).

1.1 Objetivo General

Diseñar un esquema de transferencia de carga para la red eléctrica de distribución del Campus de la Escuela Politécnica Nacional. El propósito es mejorar la continuidad del servicio eléctrico, minimizando interrupciones durante racionamientos programados y posibles fallas.

1.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de este proyecto abordado están desglosados en los siguientes puntos:

1. Elaborar una base conceptual acerca de los esquemas de transferencia de carga en alimentadores de distribución.
2. Presentar un diagnóstico operativo de la red eléctrica del Campus de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).
3. Elaborar un diseño del esquema de transferencia de carga del Campus de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).
4. Realizar una evaluación de costos del diseño del esquema de transferencia de carga del Campus de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).

1.3 Alcance

Se realizará un análisis de la red eléctrica del Campus de la Escuela Politécnica Nacional, evaluando los alimentadores A y E de la Subestación Diez Nueva y el alimentador A de la Subestación La Floresta mediante simulaciones de flujos de potencia. Se identificará la capacidad actual de la red y posibles áreas de mejora.

Basándose en el diagnóstico, se diseñará un esquema de transferencia de carga, considerando aspectos técnicos y económicos. Se presentará un diseño detallado del esquema, resultado principal del proyecto.

Además, se evaluarán los costos del diseño propuesto, abarcando todos los componentes necesarios para su implementación. Esto permitirá obtener una visión completa de la viabilidad económica del proyecto.

1.4 Marco Teórico.

En este numeral se examina el contenido necesario para comprender mejor el Trabajo de Integración Curricular, se aborda los conceptos relacionados con sistemas de transferencia de carga entre alimentadores en un sistema eléctrico, aspecto fundamental para garantizar el suministro confiable de energía en el Campus de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). El estudio se centra en la implementación de un esquema de transferencia de carga para optimizar la distribución de energía eléctrica y minimizar las interrupciones en el servicio.

1.4.1 REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN.

Las redes eléctricas de distribución son sistemas complejos diseñados para transportar la energía eléctrica desde las subestaciones de transmisión hasta los consumidores finales, que pueden ser residenciales, comerciales o industriales. Estas redes operan típicamente en niveles de voltaje medio y bajo, asegurando que la energía sea entregada de manera segura y eficiente. Existen diferentes tipos de clasificaciones de las redes de distribución a continuación se presenta la correspondiente al tipo de construcción:

Redes aéreas de Distribución:

Para esta configuración los conductores, generalmente cables desnudos, se sostienen mediante aisladores instalados en crucetas y postes de madera o concreto. Al compararlo con el sistema subterráneo, presenta varias ventajas. Primero, tiene un costo inicial más bajo. Además, es más común y sus materiales son fáciles de conseguir. El mantenimiento es sencillo, la localización de fallas es más rápida y los tiempos de construcción son menores.[1]

No obstante, también tiene desventajas significativas: su aspecto estético es deficiente y ofrece menor confiabilidad. La seguridad es reducida, representando un mayor peligro para los transeúntes. Estos sistemas son susceptibles a fallas y cortes de energía debido a su exposición a factores externos.[1]

Redes subterráneas de Distribución:

Los sistemas de distribución subterráneos se utilizan en áreas donde, por razones de urbanismo, estética, congestión o condiciones de seguridad, no es viable el uso de sistemas aéreos. En la actualidad, los sistemas subterráneos son competitivos frente a los sistemas aéreos en zonas urbanas céntricas debido a sus numerosas ventajas.

Entre sus principales beneficios se encuentran su mayor confiabilidad, ya que la mayoría de las contingencias que afectan a las redes aéreas, como descargas atmosféricas, vientos fuertes y vandalismo, no impactan a las redes subterráneas. Adicionalmente, son estéticamente más agradables ya que están ocultas a la vista y ofrecen una seguridad significativamente superior. La exposición a actos de vandalismo también es considerablemente menor. Sin embargo, estos sistemas presentan algunas desventajas notables: el costo de inversión inicial es considerablemente alto, la localización de fallas es más difícil y el mantenimiento, así como las reparaciones, son más complejas y requieren más tiempo. [1]

Métodos de Planificación en redes de Distribución:

La implementación de herramientas de software especializado se rige por el criterio del planificador y la política operativa de la empresa de electricidad. Estos incluyen, pero no se limitan a, el análisis de flujos de carga, la determinación de corrientes de falla y cortocircuito, la evaluación de caídas de voltaje y pérdidas, el cálculo de las impedancias del sistema, la proyección de cargas, la regulación de voltaje, el ajuste de reguladores, y la ubicación óptima de bancos de condensadores.[1]

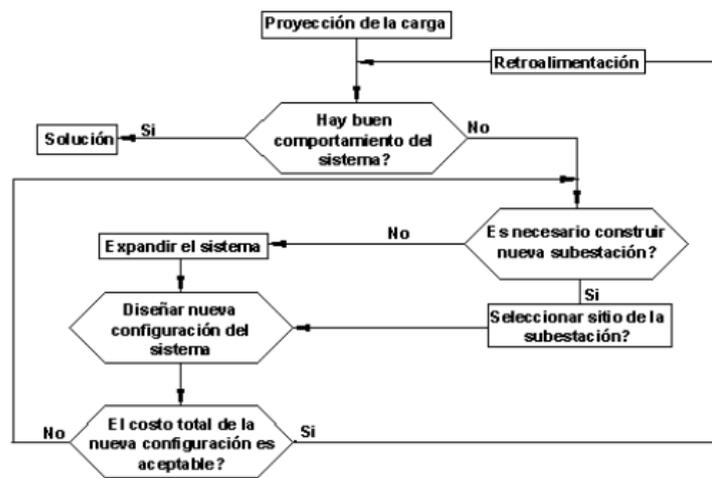


Figura 1. Esquema de Planificación de Redes de Distribución.[1]

Rasgos de las Cargas Eléctricas:

En base a la Figura 2, se evidencia que las propiedades de la carga tienen un impacto tanto en los sistemas de potencia como de distribución, las características de las cargas reflejan la interacción de los usuarios con el sistema de distribución y, por ende, establecen las condiciones como la ubicación y cómo se establece la demanda durante el período de carga y las compañías de energía tienen la capacidad de ejercer control sobre ciertas cargas para prevenir el colapso del sistema.[1]

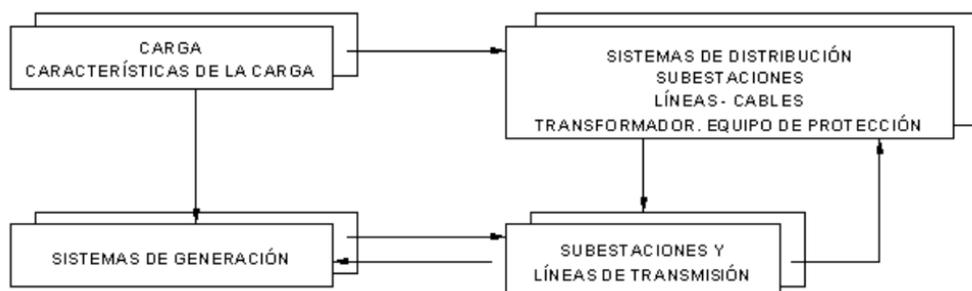


Figura 2. Esquema de Impacto de las Cargas en las Redes de Distribución.[1]

Demanda:

Se refiere a la cantidad de energía que un usuario consume en un momento dado (tiempo-variable). En otras palabras, la demanda de una instalación eléctrica en los terminales receptores se mide como un valor promedio en un intervalo específico, el período durante el cual se calcula este valor promedio se conoce como intervalo de demanda. La duración de este intervalo dependerá del valor de demanda que se quiera determinar.

Por ejemplo, si se desea establecer la demanda en amperios para la selección de fusibles, se deben analizar los valores de demanda con un intervalo cero, sin embargo, si se busca determinar la demanda para aplicarla a un transformador o cable, el intervalo será de 30 o 35 minutos. Es esencial especificar el intervalo al establecer una demanda, ya que, sin él, no tendría sentido práctico. La demanda se puede expresar en kVA o kW.

Al diseñar un sistema de suministro para un usuario, es esencial considerar su demanda máxima, ya que esta demanda puede imponer condiciones de carga y caída de tensión más rigurosas en la red. Sin embargo, cuando una red alimenta a múltiples usuarios, es crucial tener en cuenta la diversidad de la carga, ya que las demandas máximas de los usuarios no siempre ocurren al mismo tiempo. Esto se debe a que, aunque los usuarios pueden pertenecer a la misma categoría de consumo, sus hábitos pueden variar significativamente. Por ejemplo, la Figura 3 ilustra las curvas de carga diaria de tres usuarios de la misma categoría, cuyas demandas máximas son similares, pero no ocurren simultáneamente debido a sus diferentes costumbres.[1][2]

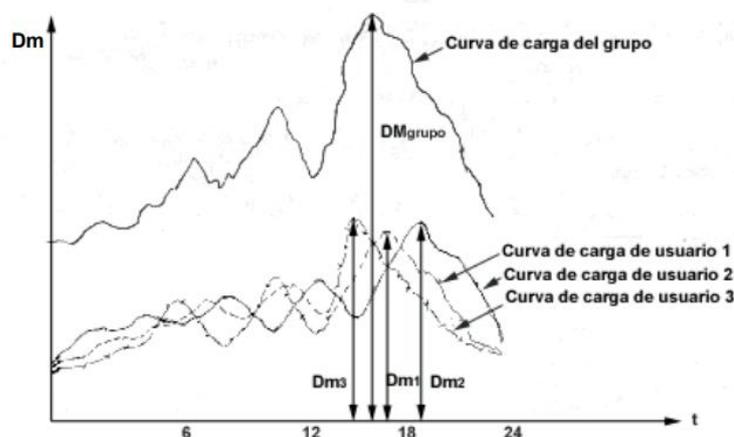


Figura 3. Gráficos de demanda energética de múltiples consumidores gráfico de demanda energética equivalente del conjunto.[1]

Esta variación en las demandas máximas de un grupo de cargas se cuantifica mediante el factor de diversidad. Este factor se define como la relación entre la suma de las demandas máximas individuales y la demanda máxima del grupo de usuarios, también conocida como demanda máxima coincidente.[1]

Por otro lado, en un sistema de distribución de energía eléctrica engloba una serie de dispositivos que posibilitan suministrar energía de manera segura y confiable a una variedad de cargas, las cuales pueden estar ubicadas en diversos lugares y operar a diferentes niveles de tensión. La configuración del sistema dependerá de las características específicas de las cargas, la cantidad de energía requerida y los estándares de confiabilidad y seguridad que deban cumplirse [2].

Características que se debe considerar en una red de distribución:

- ❖ Los circuitos primarios de distribución, conocidos como "alimentadores primarios", funcionan en el rango de [4.2 - 34.5] kV. En diferentes regiones de Ecuador, estos voltajes suelen establecerse principalmente en 13.8 o 22 kV.
- ❖ La red de distribución secundaria es el sistema encargado de conducir la energía eléctrica desde los transformadores de distribución hacia los usuarios finales. Esta red se extiende a lo largo de las calles o por la parte posterior de los terrenos, facilitando así el suministro eléctrico a las diferentes instalaciones y edificaciones ubicadas en su trayectoria.
- ❖ Los transformadores de distribución, que tienen capacidades nominales en el rango de [10 – 2500] kVA, se ubican cerca de los consumidores y transforman los voltajes primarios a niveles utilizados en la red de distribución secundaria (600, 220, 120 V) [1].

1.4.2 ALIMENTADOR Y SUS ASPECTOS PRINCIPALES.

Un alimentador eléctrico constituye una parte esencial del sistema de distribución de energía eléctrica, siendo definido técnicamente como un circuito conectado a una estación receptora, destinado a proporcionar energía eléctrica a uno o varios servicios, o a múltiples subestaciones distribuidoras. Este componente actúa como el conducto encargado de suministrar la corriente necesaria para alimentar un grupo de cargas [3].

El alimentador primario de diseño radial es el más básico, económico y, por ende, el más utilizado. Este se ilustra en la Figura 4 como un sistema radial estándar, sin interruptores de conexión, la fiabilidad de este sistema es relativamente baja. Cualquier falla que ocurra en el sistema resulta en la interrupción del suministro eléctrico a numerosos usuarios, es

evidente que el sistema radial es susceptible a múltiples interrupciones debido a fallos en los conductores aéreos, cables subterráneos o transformadores. Los periodos de interrupción pueden ser extensos.[1]

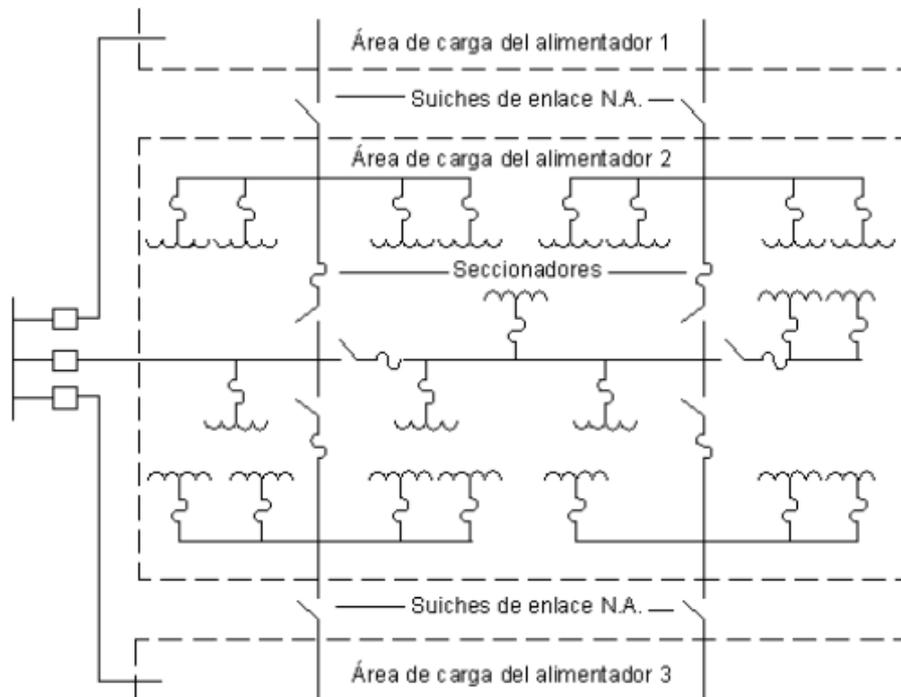


Figura 4. Esquema del Alimentador primario de tipo Radial - interruptores de enlace y dispositivos de seccionamiento.[1]

La Figura 4 presenta una versión modificada del alimentador primario con seccionadores e interruptores de enlace. Esto permite una rápida restauración del servicio al redirigir secciones no afectadas del alimentador a un alimentador primario cercano.

El proceso de selección y análisis del alimentador designado para una transferencia de carga involucra varias consideraciones. En primer lugar, se examina la ubicación del sistema, incluyendo la subestación y los alimentadores primarios, para garantizar una infraestructura óptima. Luego, se realiza un análisis detallado del comportamiento de las cargas mediante el sistema de monitoreo y su registro de datos, junto con un estudio exhaustivo de las tasas de crecimiento de las cargas en los últimos cinco años. Además, se lleva a cabo un análisis de la tensión de alimentación para identificar posibles caídas de voltaje en áreas críticas, seguido de la selección de protecciones y seccionamientos de media tensión para adaptarse a la nueva carga instalada. [1][2]

Se determina la ubicación óptima de los reconectores para facilitar la interconexión y se diseña un sistema de interconexión, que incluya, si es necesario la construcción de una línea para la transferencia de carga [3][4].

1.4.3 TRANSFERENCIA DE CARGA.

Para la transferencia de carga entre alimentadores se debe tener en cuenta que los sistemas de transferencia desempeñan un papel crucial en la mejora de la fiabilidad del suministro eléctrico al permitir una respuesta eficaz ante posibles fallas en la red. En caso de una interrupción en uno de estos sistemas, no se produce una pérdida completa del circuito, ya que puede ser compensada parcial o totalmente [5].

Líneas de Conexión:

Las Líneas de Conexión son conductores que unen dos sistemas de suministro eléctrico para ofrecer un servicio de emergencia de un sistema a otro, tal como se ilustra en la Figura 5, las funciones de las líneas de conexión son las siguientes:

- Ofrecer un servicio de emergencia a un alimentador principal cercano para minimizar el tiempo de interrupción de los usuarios durante situaciones de emergencia.[1]
- Suministrar un servicio de emergencia a subestaciones de distribución adyacentes, eliminando así la necesidad de tener un suministro de respaldo en cada subestación de distribución. Las líneas de conexión deben ser instaladas cuando más de una subestación de distribución es requerida para abastecer la misma área de carga al mismo voltaje de distribución primaria. Este sistema permite restablecer el servicio a un área que ha sido afectada por una falla en los transformadores de distribución.[1]

Procedimiento de expansión para zonas con alta concentración de carga:

En zonas de servicio con alta concentración de carga, las subestaciones vecinas se desarrollan de manera similar para proporcionar una capacidad de transferencia de carga adecuada y continuidad del servicio. Por ejemplo, una subestación con un conjunto de dos transformadores puede proporcionar una potencia estable (potencia de emergencia de un conjunto + circuitos de conexión + consideraciones de reserva). Dado que los circuitos de conexión deben estar disponibles para soportar la pérdida de una unidad de transformación

grande, el método de desarrollo de alimentadores primarios es especialmente apropiado para áreas con alta densidad de carga. El método se ilustra en la Figura 5.[1]

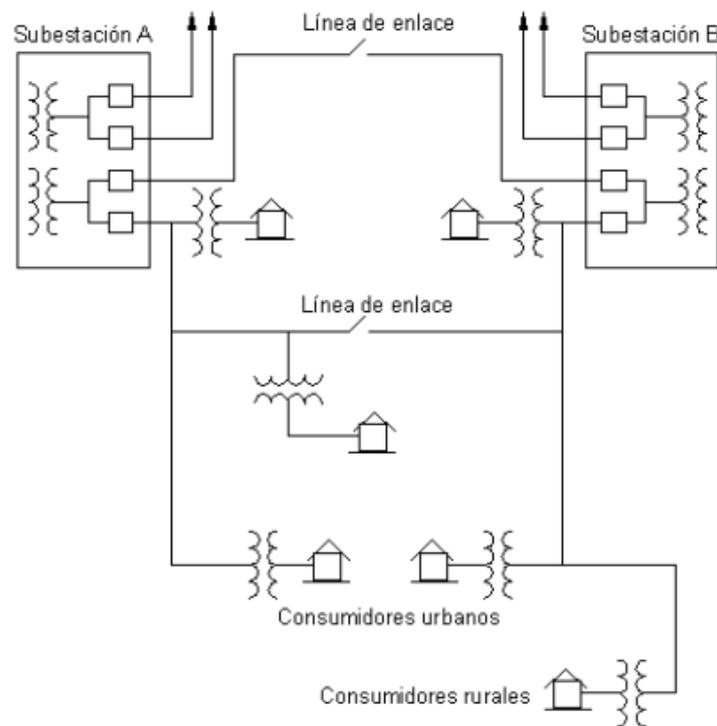


Figura 5. Representación esquemática del sistema de suministro eléctrico convencional con dos subestaciones e interconexiones de enlace.[1]

Tipos de Esquemas de Transferencia de Carga:

Los esquemas de transferencia de carga en alimentadores de distribución son fundamentales para asegurar la continuidad y estabilidad del suministro eléctrico en redes de distribución, dichos esquemas permiten redistribuir la carga eléctrica entre diferentes alimentadores, minimizando las interrupciones y mejorando la confiabilidad del sistema. El estudio de estos esquemas es esencial para el diseño y operación eficiente de las redes eléctricas, especialmente en contextos urbanos donde la demanda de energía es alta y las interrupciones pueden tener consecuencias significativas.[5]

- **Transferencia Manual:** Implica la intervención directa de operadores que, mediante maniobras en el sistema, redirigen la carga de un alimentador a otro. Este método es común en redes de distribución de menor escala o en situaciones donde la automatización no es viable. Aunque es un método sencillo y de bajo costo, su principal desventaja es la dependencia de la intervención humana, lo que puede retrasar la restauración del servicio en caso de fallas.[6]

- **Transferencia Automática:** Utiliza dispositivos de conmutación y control que, en respuesta a ciertas condiciones críticas (como la caída de tensión o la pérdida de un alimentador), transfieren la carga de manera inmediata y sin intervención humana. Este tipo de transferencia mejora significativamente la confiabilidad del sistema al reducir el tiempo de interrupción y es ampliamente utilizado en redes modernas y de alta demanda.[7]
- **Transferencia Semi-Automática:** Combina elementos de los métodos manual y automática, en este esquema, la transferencia de carga puede ser iniciada automáticamente por el sistema, pero requiere una confirmación o acción adicional por parte de los operadores. Se balancea la necesidad de intervención de personal capacitado con la rapidez de la respuesta automática, ofreciendo flexibilidad y control.[6][7]

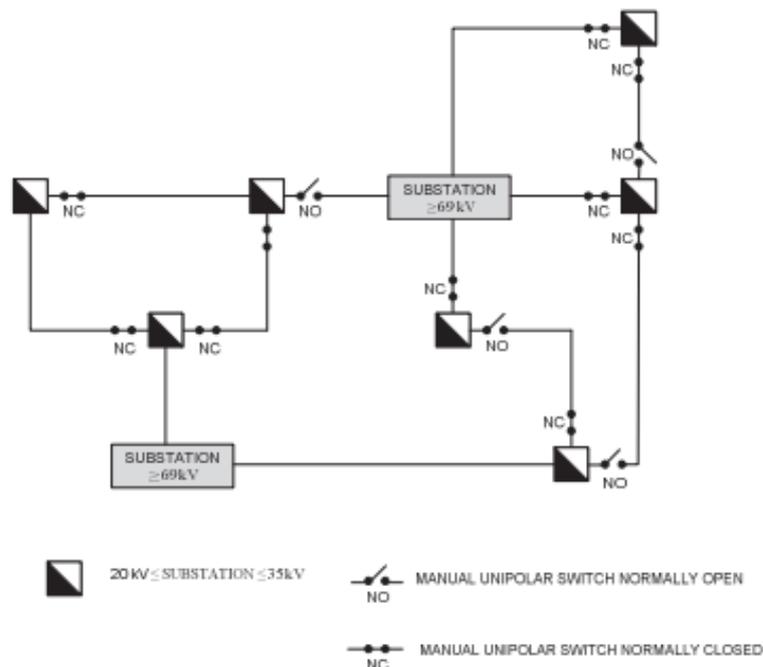


Figura 6. Esquema típico de Transferencia de Carga de Redes de Distribución (Mediante Interruptores).[7]

Para garantizar que una transferencia de carga cumpla su objetivo principal, de mantener el servicio para un mayor número de usuarios en caso de una falla en un alimentador o un transformador de potencia, deben cumplirse ciertos requisitos fundamentales para asegurar una transferencia de carga segura y confiable tanto para la infraestructura como para los usuarios finales [6].

Finalmente, algunos aspectos que se deben tener en consideración incluyen, que los alimentadores deben operar a un mismo nivel de voltaje y que las subestaciones deben tener una secuencia de fases idéntica. Es preferible que los alimentadores se conecten a un punto de interconexión de una red trifásica y que provengan de diferentes subestaciones para garantizar la disponibilidad del servicio en caso de una falla en una de las fuentes. Asimismo, al menos uno de los alimentadores debe cumplir con los niveles de voltaje establecidos en la regulación dentro de un rango de $\pm 8\%$ [5][8].

2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CAMPUS DE LA EPN

2.1 RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EXISTENTE.

En base al Geoportal de Argis de la Empresa Eléctrica Quito (E.E.Q), se obtuvo los datos y modelación de la red eléctrica del Campus de la Escuela Politécnica Nacional, en la Figura 7 se muestra un mapa que incluye los alimentadores principales a los que se conecta el Campus [9].

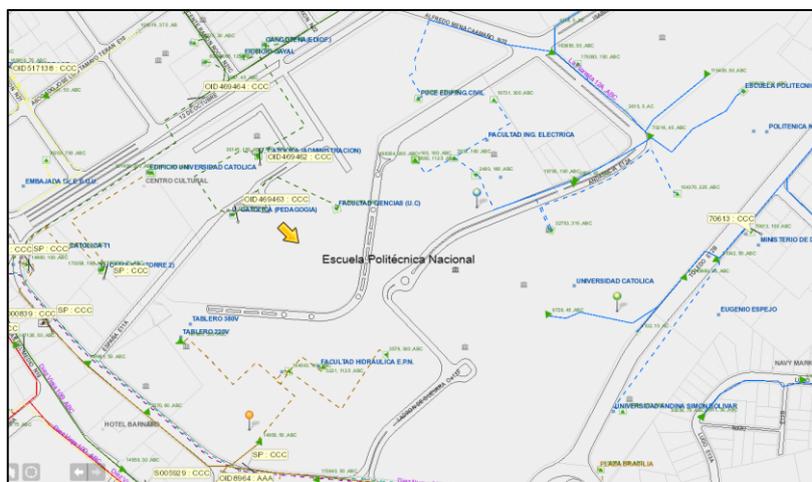


Figura 7. Vista General de la red eléctrica de Campus (E.P.N).[9]

La Escuela Politécnica Nacional se alimenta de 3 alimentadores principales los cuales, en base al Geoportal, se distribuyen de la siguiente forma:

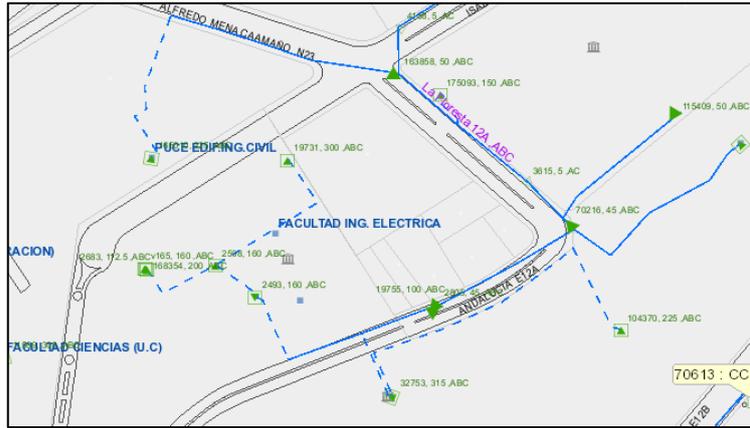


Figura 8. Alimentador – Floresta 12A (ABC) - 6.3kV.[9]

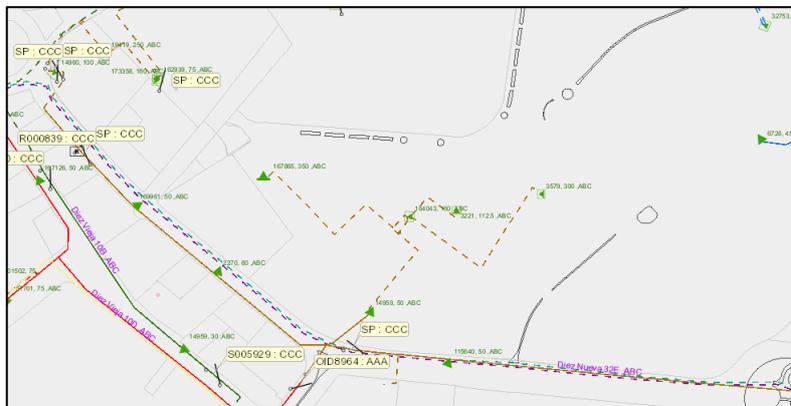


Figura 9. Alimentador – Diez Nueva 32E (ABC)- 6.3kV.[9]

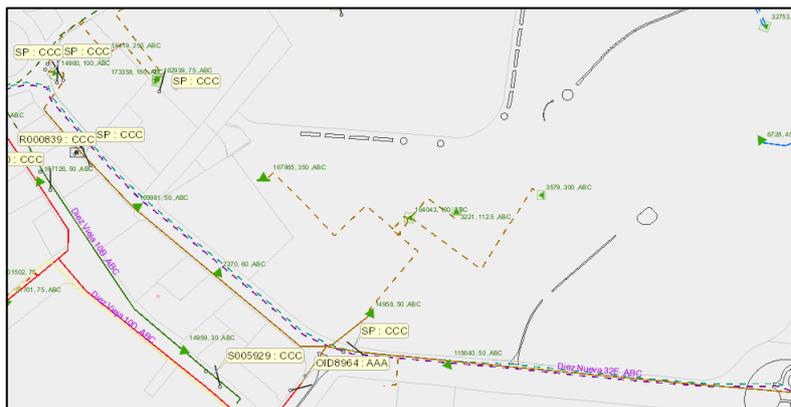


Figura 10. Alimentador – Diez Nueva 32A(ABC)- 6.3kV.[9]

Como se observa en las anteriores figuras, el nivel de voltaje con el que se abastece a la Escuela Politécnica Nacional, por parte de la empresa distribuidora para los diferentes alimentadores, es de 6.3 kV. Se establece que cuando existen racionamientos programados de energía, el Campus va a tener ciertas zonas con energía en diferentes horarios según sea establecido por la autoridad competente [9].

2.2 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL SISTEMA.

Los medidores de potencia se emplean para una evaluación precisa de circuitos eléctricos, consumo energético y cargas de red. Un medidor de potencia trifásico profesional proporciona funciones esenciales para el análisis de potencia en sistemas monofásicos y trifásicos según estándares técnicos [10].

La obtención de corrientes, voltajes y frecuencias, así como armónicos, potencias activa y reactiva a través de equipos de medición, facilitan la caracterización de las cargas en sistemas eléctricos de distribución.

El equipo utilizado para realizar el estudio de carga y evaluar el comportamiento de la demanda de energía de las cámaras de transformación de la Escuela Politécnica Nacional es el PeakTech 4145 [10].



Figura 11. Analizador de Potencia Trifásico TFT -(PeakTech).[10]

Al momento de la toma de mediciones en cada uno de los puntos especificados se debe tener en cuenta las variables a ser medidas, así como los rangos de tiempo de las mediciones, por ejemplo, intervalos de medidas cada cinco minutos por un periodo de siete días. Las variables a ser medidas para el análisis fueron las siguientes: Potencia, Voltaje, Corriente, Energía y Desequilibrio. Estas variables son almacenadas en la memoria del equipo para luego ser descargadas y así poder visualizar los resultados en el software PeakTech-PQA View, en el cual los archivos de registro se guardan como una extensión de Excel en formato CSV lo cual facilita el manejo de la información [10].

Cámara de Transformación Formación Básica y Aulas de Ingeniería Mecánica.

Las instalaciones del Departamento de Formación Básica y de las Aulas de Ingeniería Mecánica están conectadas a un transformador trifásico con una capacidad nominal de 200 kVA. Este transformador opera con un voltaje primario de 6000 V y un voltaje secundario de 210/127 V.

Para evaluar el rendimiento y las características operativas del sistema eléctrico, se llevaron a cabo mediciones detalladas desde el 28 de mayo de 2024 hasta el 4 de junio de 2024. Durante este período, se utilizó el analizador de redes para registrar diversos parámetros eléctricos. El equipo de medición fue instalado en el lado de bajo voltaje, la colocación del analizador permitió obtener datos precisos sobre el comportamiento del sistema bajo condiciones reales de carga.

En la Figura 12 se puede observar cómo se realizó la conexión del analizador de redes al sistema. Las mediciones realizadas permiten tener una visión clara del consumo energético de las instalaciones del Departamento de Formación Básica y Aulas de Mecánica. La información servirá para futuras planificaciones y ajustes en la infraestructura eléctrica del Campus, garantizando que las necesidades energéticas de la institución sean satisfechas de manera eficiente y confiable. Las mediciones también proporcionarán una base sólida para cualquier ajuste necesario en el esquema de transferencia de carga, asegurando así la continuidad del servicio eléctrico en caso de fallos o desconexiones planificadas.



Figura 12. Recolección de mediciones en el transformador (ICB y Aulas Mecánica)

Cámara de Transformación de la Facultad de Ingeniería Mecánica (Laboratorios)

Parte de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Mecánica están conectadas a un transformador trifásico con capacidad nominal de 112.5 kVA. Este transformador opera con un voltaje primario de 5700/6000/6300 V y un voltaje secundario de 210/121 V.

Para evaluar las características operativas del sistema eléctrico, se llevaron a cabo mediciones detalladas desde el 21 de mayo de 2024 hasta el 28 de mayo de 2024. El equipo de medición fue instalado en el lado de bajo voltaje, la colocación del analizador en este punto permitió obtener datos precisos sobre el comportamiento del sistema bajo condiciones reales de carga.

En la Figura 13 se puede observar cómo se realizó la conexión del analizador de redes al sistema. La información obtenida permite determinar el consumo energético de una buena parte de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Mecánica, información que servirá para futuras planificaciones y ajustes en la infraestructura eléctrica del Campus, garantizando que las necesidades energéticas de la institución sean satisfechas de manera eficiente y confiable. Las mediciones también proporcionarán una base sólida para cualquier ajuste necesario en el esquema de transferencia de carga, asegurando así la continuidad del servicio eléctrico en caso de fallos o desconexiones planificadas.



Figura 13. Recolección de mediciones en el transformador (Facultad de Mecánica)

Cámara de Transformación Edificio Química/Eléctrica.

Las instalaciones del Edificio Química/Eléctrica están conectada a un transformador Trifásico con capacidad nominal de 300 kVA. Este transformador opera con un voltaje primario de 6000 V y un voltaje secundario de 210 V.

Para evaluar las características operativas del sistema eléctrico, se llevaron a cabo mediciones desde el 21 de mayo de 2024 hasta el 28 de mayo de 2024. El analizador de redes fue instalado en el lado de bajo voltaje, permitiendo obtener datos precisos sobre el comportamiento del sistema bajo condiciones reales de carga.

En la Figura 14 se puede observar cómo se realizó la conexión del analizador de redes al sistema. La información obtenida permite conocer el consumo energético del Edificio 17 (Química/Eléctrica), lo que proporciona una base sólida para cualquier ajuste necesario en el esquema de transferencia de carga, asegurando así la continuidad del servicio eléctrico en caso de fallos o desconexiones planificadas.

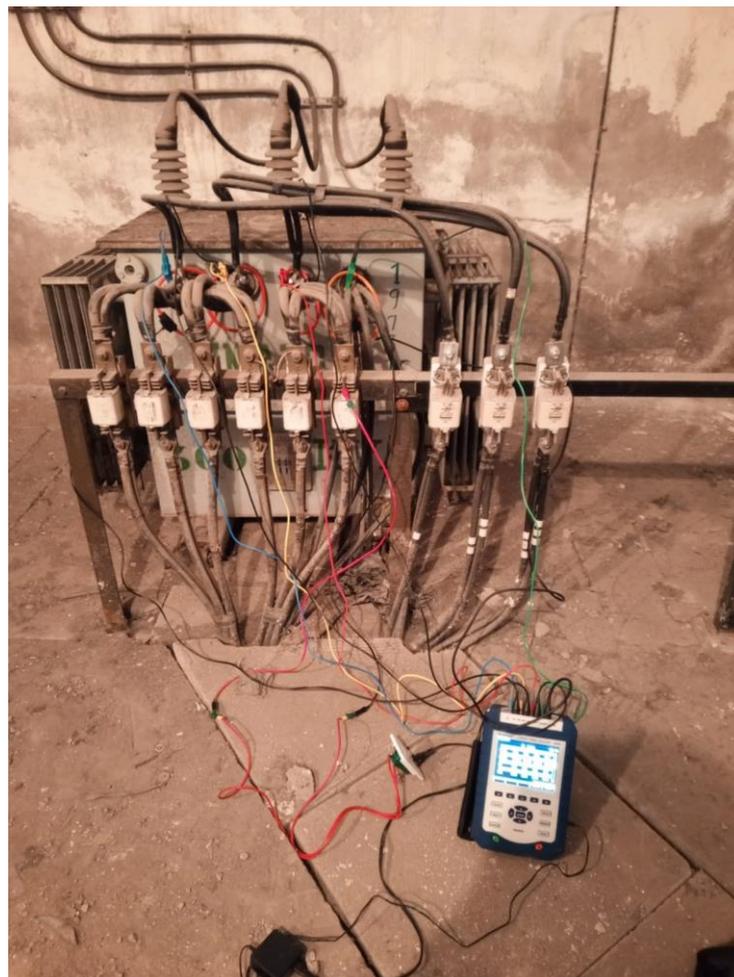


Figura 14. Mediciones Cámara de Transformación Edificio 17 -Química/Eléctrica.

Cámara de Transformación Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Las instalaciones del Edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica están conectadas a un transformador Trifásico con capacidad nominal de 170 kVA. Este transformador opera con voltaje primario de 6000/6300/5700 V y un voltaje secundario de 210/110 V.

Para evaluar las características operativas del sistema eléctrico, se llevaron a cabo mediciones desde el 12 de junio de 2024 hasta el 19 de junio de 2024. El analizador de redes fue instalado en el lado de bajo voltaje, permitiendo obtener datos precisos sobre el comportamiento del sistema bajo condiciones reales de carga.

En la Figura 15 se puede observar cómo se realizó la conexión del analizador de redes al sistema. La información obtenida permite conocer el consumo energético del Edificio 16 (Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica).



Figura 15. Mediciones Cámara de Transformación Edificio 16 - de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

2.3 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES CARGAS.

La infraestructura eléctrica del Campus de la Escuela Politécnica Nacional comprende 16 cámaras de transformación y 20 carga, distribuidas entre los tres alimentadores primarios que suministran energía eléctrica al Campus. A continuación, se detalla la distribución de la carga entre las diferentes cámaras de transformación del Campus.

Alimentador 12 A (La Floresta)

Transformador No.1(Trifásico):

- Carga: Departamento de Formación Básica y Aulas de Mecánica
- Características: Potencia de 200 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6000 V y Vs: 220/127 V

Transformador No.2 (Trifásico):

- Carga: Laboratorio de Mecánica (Horno de Inducción)
- Características: Potencia de 160 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6000/5700/5850 V y Vs: 460/288 V

Transformador No.3 (Trifásico):

- Carga: Facultad de Mecánica.
- Características: Potencia de 112,5 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6300/6000/5700 V y Vs: 460/288 V

Transformador No.4 (Trifásico):

- Carga: Edificio de Eléctrica
- Características: Potencia de 170 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6300/6000/5700 V y Vs: 231/133 V

Transformador No.5 (Trifásico):

- Carga: Edificio de Química / Eléctrica
- Características: Potencia de 300 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6000 V y Vs: 210 V

Transformador No.6 (Trifásico):

- Carga: Facultad de Química

- Características: Potencia de 160 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6300/6000/5700 V y Vs: 231/133 V

Transformador No.7 (Trifásico):

- Carga: Facultad de Sistemas
- Características: Potencia de 315 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6000 V y Vs: 220/110 V

Transformador No.8 (Trifásico-Pad Mounted):

- Carga: Laboratorio de C.I.E.R.H.I (Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos)
- Características: Potencia de 225 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6300/6000/5700 V y Vs: 220/121 V

Transformador No.9 (Trifásico):

- Carga: Establecimiento de Metalurgia
- Características: Potencia de 45 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6300/6000/5700 V y Vs: 220/121 V

Transformador No.10 (Trifásico):

- Carga: Establecimientos de Metal Mecánica y Metalurgia, Centro de Educación Continua
- Características: Potencia de 500 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6000 V y Vs: 220/127 V

Alimentador 32 E (Diez Nueva)

Transformador No.1 (Trifásico):

- Carga: Establecimiento del E.P.N - TECH
- Características: Potencia de 50 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6000 V y Vs: 220/120 V

Transformador No.2 (Trifásico):

- Carga: Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
- Características: Potencia de 160 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6000 V y Vs: 220/127 V

Transformador No.3 (Trifásico-Pad Mounted):

- Carga: Teatro Politécnico, Facultad de Ciencias y Edificio de Administración
- Características: Potencia de 300 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6000 V y Vs: 220/121 V

Transformador No.4 (Trifásico):

- Carga: Establecimiento de Hidráulica
- Características: Potencia de 112.5 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6300 V y Vs: 220/121 V

Transformador No.5 (Trifásico):

- Carga: Centro de Investigaciones en Polímeros y Establecimiento de Servicio Generales
- Características: Potencia de 300 [kVA], Conexión Dy5, Vp: 6000 V y Vs: 220/121 V

Alimentador 32 A (Diez Nueva)

Transformador No.1 (Trifásico):

- Carga: Facultad de Geología y Petróleos y ESFOT
- Características: Potencia de 45 [kVA], Conexión Dy11, Vp: 6000 V y Vs: 220/120 V.

Dada la disposición de las cargas y los alimentadores, la propuesta de transferencia de carga en el Campus J. Rubén Orellana de la Escuela Politécnica Nacional contemplará las cargas conectadas desde la Escuela Politécnica Nacional hacia los alimentadores La Floresta 12-A y Diez Nueva 32-E. Esta consideración se basa en la necesidad de asegurar una distribución eficiente y confiable de la energía eléctrica, optimizando el uso de los recursos disponibles y minimizando las interrupciones en el suministro. Además, se evaluarán las posibles mejoras en la infraestructura existente para facilitar una transferencia de carga más efectiva y robusta entre estos alimentadores.

Cálculo de la Demanda

El objetivo es determinar la máxima demanda con la cual se efectuará la transferencia de carga entre los alimentadores. Para el efecto se considera el futuro crecimiento de la carga y los valores de mediciones de carga realizados.

El análisis y determinación de la carga máxima coincidente permitirá seleccionar el conductor de enlace para que las maniobras de transferencia sean seguras y eficientes tanto en el estado presente como hacia el futuro del Campus.

En la Tabla 1 se presenta la demanda estimada de las cargas conectadas al alimentador La Floresta 12-A.

Tabla 1. Resultados Cálculo de Demanda (Alimentador 12 A)

No. De Transformador	Demanda
	Potencia [kVA]
1	120
2	120
3	80
4	60
5	180
6	90
7	180
8	150
Demanda Total [kVA]	980
Corriente Máxima Total [A]	90

La demanda de los edificios de Metalúrgica y Aulas y Relación con el Medio Externo no se considera en este cálculo, esto debido a que, durante las visitas de campo, se identificó que la transferencia de la carga de estos edificios, actualmente conectados al alimentador La Floresta 12-A conllevaría la necesidad de desconectar y reconectar las cargas de usuarios particulares ubicados en la Calle Andalucía, vecinos de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), proceso que causaría inconvenientes significativos a estos usuarios residenciales, por lo que se decidió excluir estas cargas del análisis y así evitar inconvenientes a terceros.

En la Tabla 2 se presenta la demanda estimada de las cargas conectadas al alimentador Diez Nueva 32-E:

Tabla 2. Resultados de los Estudios de Cálculo de Demanda (Alimentador 32 E)

No. De Transformador	Demanda
	Potencia [kVA]
1	30
2	120
3	300
4	60
5	300
Demanda Total [kVA]	810

Corriente Máxima Total [A]	74
-----------------------------------	-----------

En las tablas previamente presentadas, se puede observar que la carga a transferir desde el alimentador 12-A, que entra por la calle Andalucía, hacia el alimentador 32-E, que ingresa de manera aérea al lado derecho del Centro de Investigación de la Vivienda, junto al edificio de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, es de aproximadamente 90 amperios. De manera similar, la carga a transferir desde el alimentador 32-E hacia el alimentador 12-A es de aproximadamente 74 amperios. Estas cargas son fundamentales para llevar a cabo la propuesta de transferencia de carga en el Campus J. Rubén Orellana de la Escuela Politécnica Nacional.

Del análisis del estado actual de la infraestructura existente, se determina que es posible manejar las cargas propuestas sin riesgo de sobrecarga o fallas en el sistema. La consideración de estas transferencias de carga es crucial para mejorar la fiabilidad y la continuidad del suministro eléctrico en el Campus, minimizando el impacto de posibles desconexiones en los alimentadores primarios.

La distribución de la carga eléctrica que se logra mediante el sistema de transferencia de carga busca garantizar que las necesidades energéticas de los diversos edificios del Campus sean satisfechas de manera eficiente y segura, contribuyendo así a un funcionamiento ininterrumpido de las actividades académicas, administrativas y de investigación.

2.4 MODELACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - DIAGNÓSTICO.

Para llevar a cabo la modelación eléctrica para el proyecto del sistema de transferencia de carga, se utilizó el software CYME 9.0, desarrollado por EATON, una de las principales compañías de fabricación de material eléctrico a nivel mundial. La modelación del sistema se realiza en base a la actualización de un modelo preexistente de la red eléctrica del Campus Politécnico [11].

La Figura 16 ilustra la modelización de la red eléctrica de distribución del Campus de la Escuela Politécnica Nacional en el software CYME, mostrando los dos alimentadores primarios que proveen energía eléctrica a la red y que podrán ser considerados en el esquema de transferencia de carga a ser propuesto [11].



Figura 16. Esquema de la Red Eléctrica involucrada en el Sistema de Transferencia de Carga (Elaborado en CYME).[11]

En base a la Figura 16, se consideró realizar un análisis de red actual, tomando en cuenta las mediciones presentadas en secciones anteriores, para poder obtener el estado de la red utilizando el horario de demanda máxima coincidente tomando, mismo que se presenta entre las 10:30 am y las 12:00 pm. Para el efecto, utilizando el Software de CYME, se cargan los valores obtenidos desde las mediciones realizadas en cámaras de transformación, según el detalle que se presenta en la sección 4.1.

A continuación, se presentan los resultados del Flujo de Carga de la red actual:

Tabla 3. Resultados - carga de alimentadores, red actual.

Alimentador 12_A								
	Carga total		Carga total		Pérdidas totales		Pérdidas totales	
Nombre de la red	kVA	FP (%)	kW	FP (%)	kVA	FP (%)	kW	FP (%)
AL-12A	666.52	97.68	651.06	97.68	20.99	49.17	10.32	49.17
Total	666.52	97.68	651.06	97.68	20.99	49.17	10.32	49.17
Alimentador 32_E								
	Carga total		Carga total		Pérdidas totales		Pérdidas totales	

Nombre de la red	kVA	FP (%)	kW	FP (%)	kVA	FP (%)	kW	FP (%)
AL-32E	441.98	98.49	435.31	98.49	19.30	37.15	7.17	37.15
Total	441.98	98.49	435.31	98.49	19.30	37.15	7.17	37.15
Resumen								
	Carga total		Carga total		Pérdidas totales		Pérdidas totales	
	kVA	FP (%)	kW	FP (%)	kVA	FP (%)	kW	FP (%)
Total	1108.2	98.02	1086.3	98.02	40.20	43.51	17.49	43.51

En la Tabla 3 se puede observar que los valores de potencia aparente de los alimentadores superan los 400 kVA, dando un total de carga de 1108.2 kVA con un factor de potencia total mayor al 0.98 en atraso.

Las pérdidas no son representativas ya que no llegan ni al 3% de la capacidad de carga total del sistema. Por otro lado, un aspecto importante es el flujo de corriente que hay en cada uno de los alimentadores como se muestra a continuación:

Tabla 4. Resultados Flujo de Carga (Alimentador 32E)

Línea del Alimentador 32-E						
Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0.975	6.1	3.5	41.6	442	435	76

Tabla 5. Resultados Flujo de Carga (Alimentador 12A)

Línea del Alimentador 12-A						
Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0.986	6.2	3.6	61.9	667	651	143

En base a las Tablas 4 y 5, se establece que la carga de los alimentadores primarios se encuentra en niveles razonables en relación con la capacidad de los mismos.

3 PROPUESTA DE ESQUEMA DE TRANSFERENCIA DE CARGA PARA EL CAMPUS POLITÉCNICO.

El esquema de transferencia de carga que se propone se produce entre el alimentador 12-A, que accede al Campus por la calle Andalucía a la entrada de la guardianía de la Facultad de Ingeniería Química, y el alimentador 32-E, que llega de manera aérea al lado oriental del Centro de Investigación de la Vivienda, adyacente al edificio de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, como se muestra en la Figura 17. Este sistema implica la construcción de un alimentador trifásico subterráneo siguiendo la ruta indicada en la Figura 17; y, el reforzamiento del alimentador aéreo 12-A hasta la esquina de la Av. Isabel La Católica y Mena Camaño.

En las entradas del alimentador trifásico subterráneo propuesto, marcadas con 1 y 2 en la figura, se deben construir cámaras que contengan tres celdas de seccionamiento bajo carga. Estas cámaras permitirán la transferencia de las cargas entre los dos alimentadores. La ubicación propuesta para la cámara de seccionamiento en el lado norte del Campus es junto a la guardianía (Punto-B), en el área verde del edificio de Ingeniería Química, en la calle Andalucía. Para el lado sur del Campus se propone la construcción de la cámara de seccionamiento en el espacio disponible en la sección oriental del Centro de Investigación de la Vivienda (Punto-D) [12].

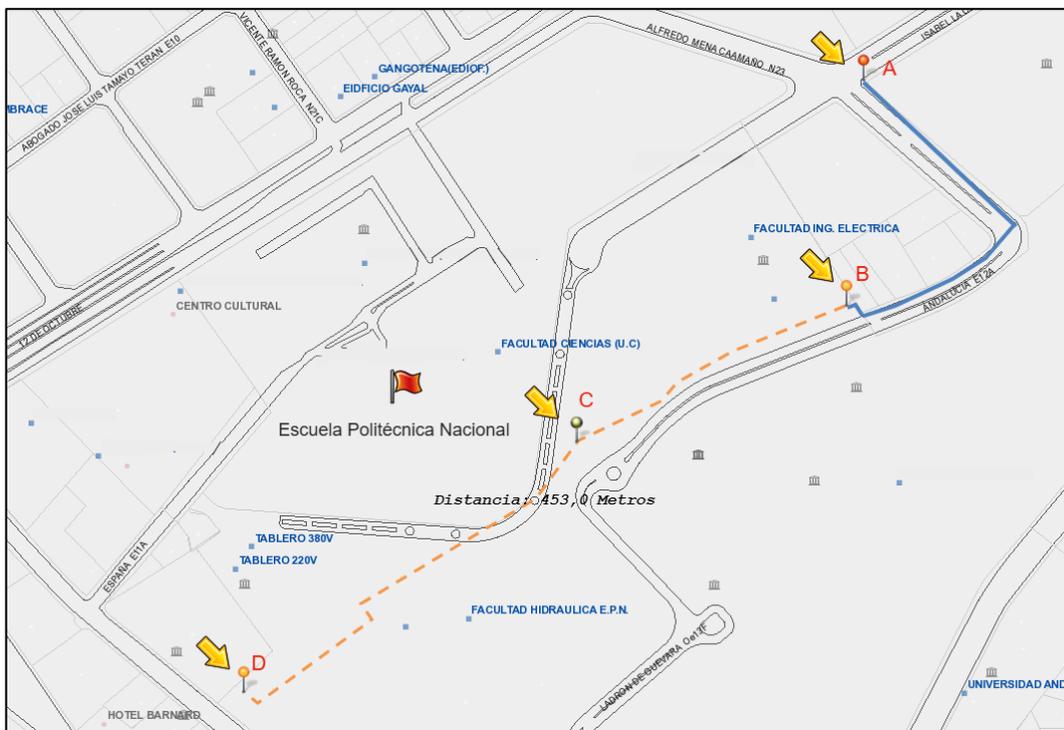


Figura 17. Ruta de Seleccionada para la transferencia de Carga entre alimentadores (Escuela Politécnica Nacional-Realizado en WEBGIS E.E.Q) [9].

Para la Figura 17, la identificación de cada una de las marcas es la siguiente:

- A) Sección de Alimentador por tramo aéreo (Conductor AAAC 1/0-250 metros).
- B) Punto de Cámara de Seccionamiento parte Norte (Alimentador 12A- 6.3 kV)
- C) Tramo subterráneo escogido para la transferencia de carga (Conductor aislado XLPE- 25 kV- 453m)
- D) Punto de Cámara de Seccionamiento parte Sur (Alimentador 32E- 6.3 kV).

3.1 SELECCIÓN Y DETALLES TÉCNICOS DE LOS CONDUCTORES.

Con base a la información de las cargas, descrita en la sección 2.4, para la instalación subterránea del sistema de transferencia, se plantea la utilización de cable aislado de polietileno reticulado (XLPE) de 25 kV de calibre AWG 1/0, el cual tiene una capacidad máxima de 195 amperios. Aunque el sistema de distribución de la Escuela Politécnica Nacional opera actualmente a 6,3 kV, este voltaje ya no es común en la construcción de redes de distribución modernas, por ello, la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) recomienda la utilización de cables de 25 kV con la perspectiva de que, en el futuro, las redes de todo el sector se actualicen a un nivel de 22,8 kV.

El calibre AWG 1/0 del cable no solo garantiza la capacidad para soportar la transferencia de las cargas actuales de la Escuela Politécnica Nacional, sino que también permite un margen para el crecimiento futuro de la demanda. Este dimensionamiento adecuado es crucial para minimizar las pérdidas eléctricas y evitar caídas de tensión significativas.

Al implementar las transferencias en las entradas de los alimentadores, las cargas de los edificios simplemente cambiarán su fuente de alimentación sin necesidad de modificar los circuitos eléctricos internos de los edificios. Esto asegura que no se producirán sobrecargas en las redes existentes. Esta estrategia de transferencia garantiza una transición eficiente y segura, alineada con las normativas y recomendaciones actuales, mejorando la resiliencia y adaptabilidad de la red eléctrica del Campus frente a futuras demandas y actualizaciones de voltaje.

3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y UBICACIÓN DE LAS CELDAS Y CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO.

Las celdas de seccionamiento desempeñarán un papel crucial en la conmutación de alimentadores y cargas dentro del Campus J. Rubén Orellana de la Escuela Politécnica Nacional. Estas celdas, diseñadas para medio voltaje, serán modulares, compactas y completamente aisladas, utilizando SF6 como gas aislante. Las especificaciones incluyen una tensión nominal de 24 kV, capacidad de corriente de 300 A, capacidad de corriente de cortocircuito de 20 kA; y, un nivel de aislamiento (BIL) de 125 kV. Las celdas serán extensibles en ambos lados, como se ilustra en la Figura 18 [13].



Figura 18. Celda de seccionamiento con aislamiento en SF6.[13]

Cada cámara de seccionamiento alojará tres celdas de seccionamiento, la celda destinada a cortar el alimentador principal estará equipada con un relé de protección de sobrecorriente (tipo 50/51), proporcionando una capa adicional de seguridad y fiabilidad. Las otras dos celdas, que alimentan la carga y el circuito de enlace, serán celdas de seccionamiento, asegurando una operación eficiente y segura del sistema, tal como se muestra en la Figura 19 [13].

La ubicación de estas cámaras de seccionamiento es estratégica dentro del Campus, en el lado norte, una cámara se instalará junto a la guardianía en el área verde del edificio de Ingeniería Química, en la calle Andalucía, para manejar la carga conectada al alimentador La Floresta 12-A. En el lado sur, otra cámara se ubicará en la sección oriental del Centro de Investigación de la Vivienda, en la Av. Ladrón de Guevara, para gestionar la carga del

alimentador Diez Nueva 32-E. Las dimensiones aproximadas de cada cámara serán de 7 metros de largo, 4 metros de ancho y 3 metros de alto, proporcionando suficiente espacio para el equipo y facilitando el acceso para mantenimiento y operación.

El diseño y la implementación de estas celdas y cámaras de seccionamiento no solo optimizarán la distribución de energía en el Campus, sino que también garantizarán la continuidad del suministro eléctrico durante los procedimientos de conmutación y mantenimiento. La estructura robusta y las características técnicas avanzadas de las celdas aseguran un alto grado de fiabilidad y seguridad, fundamentales para el funcionamiento eficiente del sistema eléctrico del Campus. El diagrama unifilar del sistema de seccionamiento se muestra en la Figura 19, este diagrama proporciona una representación clara y detallada del sistema, permitiendo visualizar las conexiones y componentes clave involucrados en el seccionamiento de la red eléctrica [6].

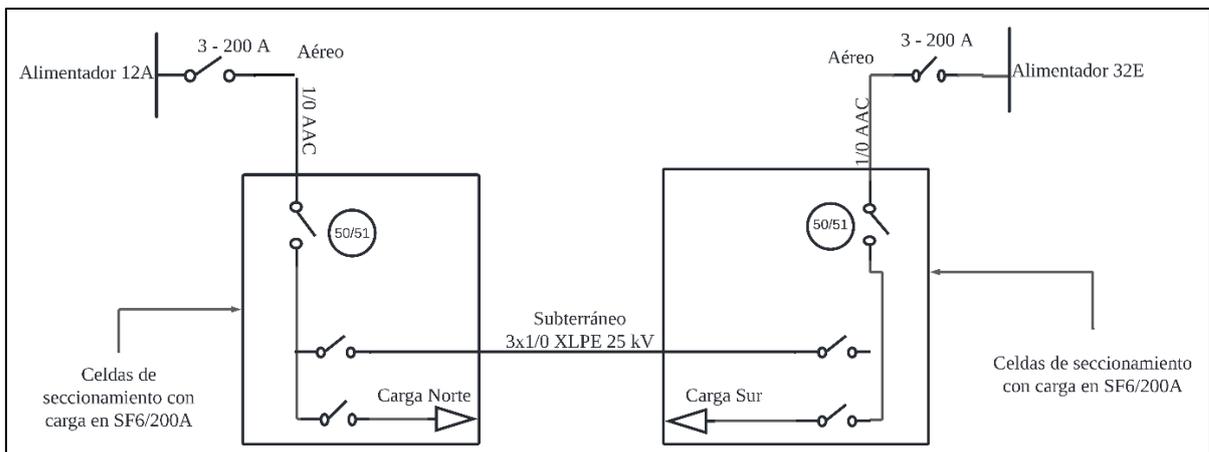


Figura 19. Esquema unifilar de celdas de seccionamiento con aislamiento en SF6.

3.3 GRUPOS ELECTRÓGENOS DE RESPALDO PARA EDIFICIOS ANTE RACIONAMIENTO DE ENERGÍA.

Los grupos electrógenos de respaldo son una solución crucial para asegurar la continuidad del suministro eléctrico en edificios durante situaciones de racionamiento de energía. Estos sistemas consisten en generadores que entran en funcionamiento automáticamente cuando se produce una interrupción en el suministro de la red principal, proporcionando energía eléctrica a las cargas críticas [14].

Tomando en consideración este sistema de respaldo, debido a que el sistema de transferencia de carga no incluye a todos los edificios de la Escuela Politécnica Nacional, se contempla la instalación de grupos electrógenos en diferentes edificios, donde se

dimensiona su potencia en base a la capacidad de transformación (Tabla 1 y Tabla 2). Se considera la capacidad de los sistemas de respaldo y sus características, priorizando los edificios cuyas instalaciones se consideran de mayor importancia.

Tabla 6. Grupos Electrógenos para cargas principales seleccionadas de la Escuela Politécnica Nacional [15][16][17].

Cargas Principales Seleccionadas	Grupo Electrónico
	Potencia [kVA]
Departamento de Formación Básica	14
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	120
Facultad de Geología y Petróleos y ESFOT	30
Potencia Total [kVA]	154

En la Tabla 6, se deben considerar las facultades y edificios seleccionados debido a su antigüedad. Algunos de los edificios más modernos dentro del Campus de la Escuela Politécnica Nacional, como el Centro de Educación Continua y la Facultad de Administración (EARME), están equipados con grupos electrógenos de 300 kVA. Asimismo, el Edificio Administrativo cuenta con un generador de 150 kVA.

Es importante destacar que, en función de la fecha de instalación de estos equipos, es necesario realizar un mantenimiento correctivo. Adicionalmente, se recomienda una repotenciación de los generadores existentes con el objetivo de asegurar que sean capaces de cubrir la carga establecida de manera eficiente y confiable. Esta intervención garantizará la continuidad operativa y la resiliencia del suministro eléctrico en las instalaciones del Campus, adaptándose a las crecientes demandas de energía y mejorando la estabilidad del sistema. El dimensionamiento del grupo electrónico se estima en base a la capacidad del transformador, tomando en cuenta la siguiente fórmula de cálculo [14]:

$$Potencia\ del\ Sistema = Cap.\ Transformador * 0,5 \quad (1)$$

$$Potencia\ del\ Grupo\ Electrónico = \frac{Potencia\ del\ Sistema}{0.81} * 1.2 \quad (2)$$

Donde:

- El valor de 0.81, se refiere al factor de potencia típico de los grupos electrógenos trabajan.

- El factor de seguridad 1.2, permite que el grupo electrógeno no opere a su máxima capacidad, para no acortar su vida útil, por lo cual debe estar trabajando al 80% equivalente a la multiplicación del resultado por 1.2 [14].

3.4 ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO DEL ESQUEMA DE TRANSFERENCIA DE CARGA

Para garantizar la capacidad adecuada y minimizar las pérdidas, se ha decidido utilizar cables aislados de polietileno reticulado (XLPE) de 25 kV, calibre (AWG 1/0), con una capacidad máxima de 195 A. Aunque la alimentación actual del sistema de la Escuela Politécnica Nacional es a 6.3 kV, la utilización de cables de 25 kV está recomendada por la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) para futuras actualizaciones a un nivel de 22.8 kV.

Las celdas de seccionamiento son otro componente crítico, siendo estos interruptores los que permitirán la conmutación de los alimentadores y cargas en el Campus. Se especifican celdas de medio voltaje, modulares compactas, aisladas en SF₆, con una capacidad de corriente de 300 A y una capacidad de corriente de cortocircuito de 20 kA.

La valoración de costos incluye todos los componentes necesarios para la implementación del sistema de transferencia de carga. Esto abarca desde el costo de los cables y celdas de seccionamiento hasta la construcción de las cámaras de seccionamiento y ductos subterráneos. Además, se consideran los costos de instalación, mano de obra, y mantenimiento futuro [18].

La elección de materiales y diseño está orientada a asegurar una vida útil prolongada del sistema y minimizar las intervenciones de mantenimiento [19].

El presupuesto para el proyecto de transferencia de carga en el Campus de la Escuela Politécnica Nacional toma en consideración tanto la obra eléctrica como la obra civil, definidas en base a las cantidades de estructuras y equipamiento eléctrico. Para el efecto se consideran los lineamientos de construcción de soterramiento y transferencia de carga de la normativa de la Empresa Eléctrica Quito, encargada de la distribución y servicio de energía dentro y fuera del Campus [18].

La estimación abarca diversos componentes esenciales para la ejecución del proyecto, estos incluyen el costo de los conductores de enlace, celdas de seccionamiento, transformadores, cámaras de seccionamiento, sistemas de protección y control, y cualquier otro equipamiento requerido para asegurar la correcta transferencia de carga. Además, se consideran los costos de mano de obra especializada, tanto para la instalación de los

componentes como para las pruebas y calibraciones necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema [18].

Asimismo, el presupuesto incluye una evaluación de los posibles costos adicionales relacionados con imprevistos que puedan surgir durante la ejecución del proyecto, como modificaciones en el diseño original, necesidades adicionales de materiales o ajustes en los plazos de ejecución. Esto asegura una cobertura integral de todos los aspectos financieros del proyecto, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones y la gestión del presupuesto durante todo el proceso de implementación. En la Tabla 7 se presenta una estimación referencial del presupuesto necesario para llevar a cabo la construcción de la propuesta de transferencia de carga entre los alimentadores Diez Nueva 32-E y La Floresta 12-A, que suministran energía a la Escuela Politécnica Nacional. Este presupuesto incluye todos los costos asociados a la implementación del proyecto, desde la adquisición de materiales y equipos necesarios, hasta los gastos de instalación, pruebas y puesta en marcha, como se muestra a continuación:

Tabla 7. Presupuesto referencial Proyecto de Transferencia de Carga.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario [USD]	Precio total [USD]
Presupuesto Obra Civil					
1	Apertura, demolición y reposición de aceras mediante hormigón.	m ²	360	21,00	7.560,00
2	Banco de Ductos (Acera con una característica 2x3 ,110mm)	m	100	131,00	13.100,00
3	Excavación en zanja (Equipo mecánico)	m ³	150	3,50	525,00
4	Excavación en zanja (Manual)	m ³	216	11,00	2.376,00
5	Pozos Eléctricos (Medio Voltaje para redes subterráneas Tipo A-En Acera con Tapa de Hormigón)	Unidad	15	350,00	5.250,00
6	Tubo PVC (110 mm, 6m, corrugado de pared lisa interna)	Unidad	330	30,00	9.900,00
Presupuesto Obra Eléctrica					
7	Conductor desnudo (AAAC 1/0) para refuerzo de alimentador.	m	750	1,50	1.125,00
8	Conductor aislado (XLPE-25 kV con un tercio neutral).	m	1800	16,00	28.800,00
9	Celdas de seccionamiento en-SF6, (24 kV, 300 A. BIL 125 V. Icc 20 kA).	Unidad	4	4.000,00	16.000,00
10	Celdas de seccionamiento en-SF6, (24 kV, 300 A. BIL 125 V. Icc 20 kA. Con protección 50/51 N).	Unidad	2	15.000,00	30.000,00
11	Cámaras de las celdas (30 m ²)	Unidad	2	10.000,00	20.000,00
12	Equipo de Protección (Interruptor Termomagnético 200 A-3P)	Unidad	1	807,00	807,00

13	Puesta a Tierra en Elementos de Maniobra y Seccionamiento (Varilla Cooperwell 16 x1800 mm- Conductor de Cobre 2 AWG)	Unidad	8	335,00	2.680,00
14	Seccionador Rompearcos (200 A)	Unidad	6	300,00	1.800,00
15	Mano de Obra, Imprevistos y Extras	Global	*	25.000,00	25.000,00
Total del Presupuesto (Proyectado)					164.923,00

El presupuesto referencial estimado para la implementación del proyecto de transferencia de carga se calcula en un valor total de \$164,923.00 (Ciento sesenta y cuatro mil novecientos veintitrés con 00/100 dólares de los estados unidos de Norteamérica), sin incluir el Impuesto al Valor Agregado (IVA). Este presupuesto contempla los costos asociados a la adquisición de materiales, equipos, y mano de obra necesarios para la ejecución del proyecto. Además, se ha considerado un margen de contingencia para cubrir posibles imprevistos que puedan surgir durante la construcción y puesta en marcha del sistema. Es crucial asegurar que los fondos asignados se utilicen de manera eficiente y efectiva para garantizar la viabilidad y sostenibilidad a largo plazo de la transferencia de carga en la red eléctrica del Campus de la Escuela Politécnica Nacional [18][19].

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE MEDICIONES ELÉCTRICAS - CAMARAS DE TRANSFORMACIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la recopilación de información de los diferentes parámetros eléctricos del analizador de red, en el cual se centra el análisis de la carga que tiene cada uno de los diferentes transformadores, curva de demanda media, el voltaje RMS y la corriente RMS. Estos resultados se obtuvieron de los análisis realizados en cada una de las cámaras de transformación especificadas en las anteriores secciones, con lo cual se puede dar una mejor representación del comportamiento de la carga en cada uno de edificios del Campus de la Escuela Politécnica Nacional, y con esto ver el beneficio y la factibilidad del proyecto de transferencia de carga.

4.1.1 Perfiles de Voltaje (RMS)

Transformador Formación Básica y Aulas de Ingeniería Mecánica.

En la Figura 20, se presenta el comportamiento del voltaje de cada una de las fases consideradas en la medición, se observa que el voltaje de la Fase C (L3) se encuentra con una mayor carga a diferencia de las otras dos fases (Fase A-L1 y Fase B-L2), también se muestra que los valores de los voltajes no sobrepasan los 133 V ni se encuentran por debajo de 124 V.

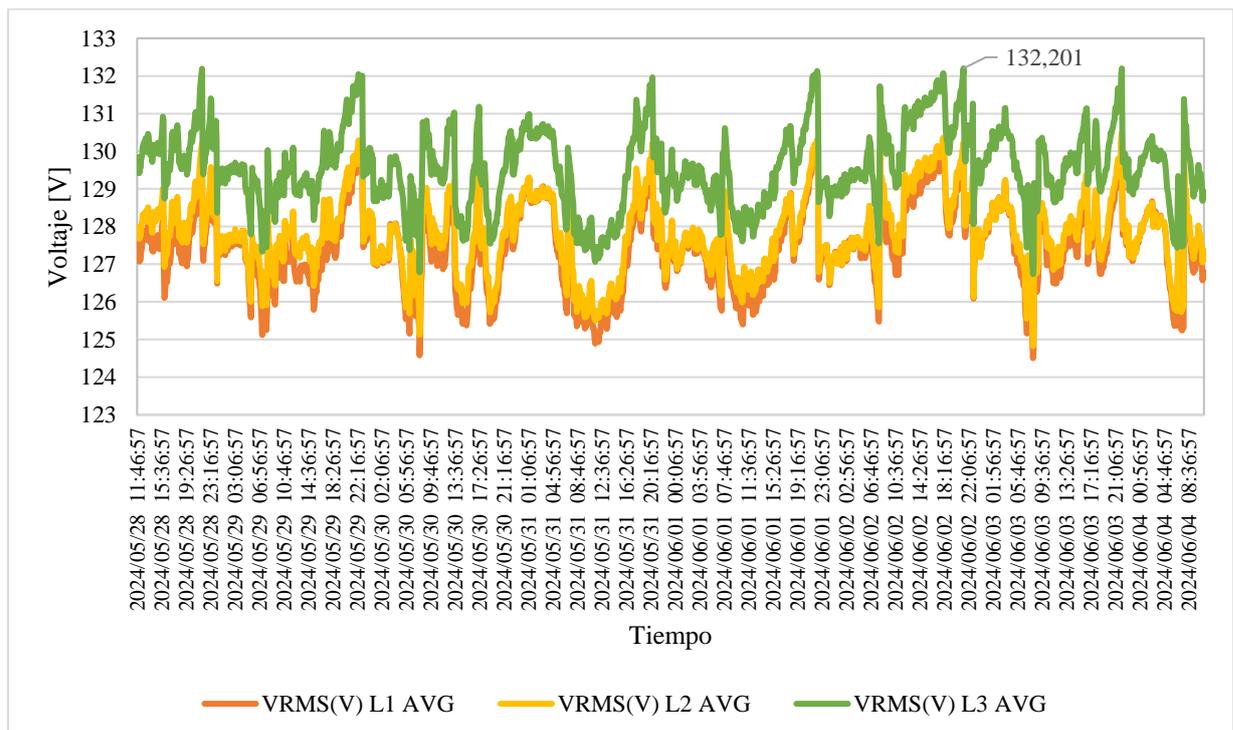


Figura 20. Perfil de Voltaje Departamento de Formación Básica y Aulas de Ingeniería Mecánica.

Transformador de la Facultad de Ingeniería Mecánica (Laboratorios)

En la Figura 18 se presenta que el comportamiento del voltaje de transformador para las diferentes fases, donde se muestra que existe el pico más elevado de voltaje en la Fase A (L1) con un valor de 135 V en el horario de las 5:40 am, además tanto en la Fase B y Fase C (L2 y L3) se muestra que los picos oscilan entre los 133 a 135 V con lo cual debido a los valores nominales de trabajo del transformador por cada una de las fases se encuentran en operación normal.

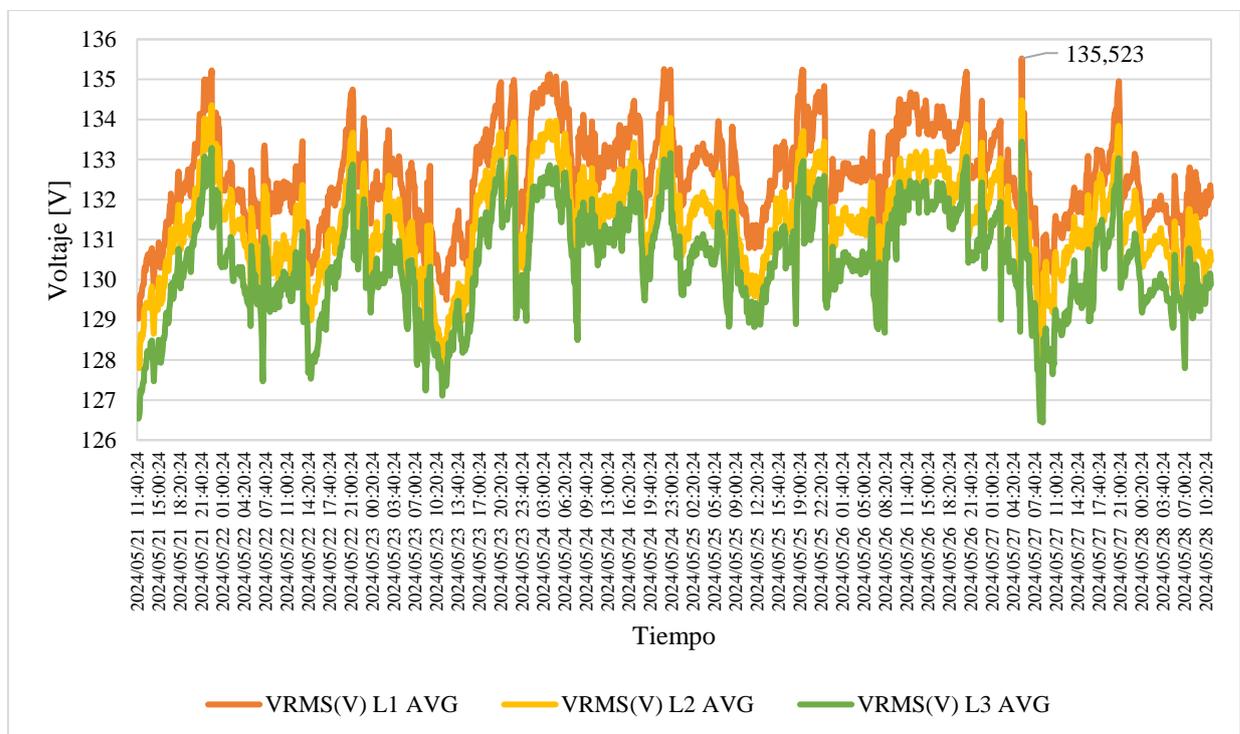


Figura 21. Perfil de Voltaje Facultad de Ingeniería Mecánica

Transformador Edificio Química/Eléctrica.

En base a la Figura 22, el parámetro de voltaje a lo largo del tiempo muestra un comportamiento estable y normal. Además, se puede concluir que las fases se encuentran balanceadas en los diferentes horarios es importante destacar que la fase que presenta un pico habitual es la Fase B (L2), con un valor que no supera los 129,72 V. Esto sugiere que el sistema mantiene un rendimiento confiable dentro de los límites aceptables, asegurando que las variaciones de voltaje sean mínimas y dentro del rango operacional esperado para el transformador en estudio.

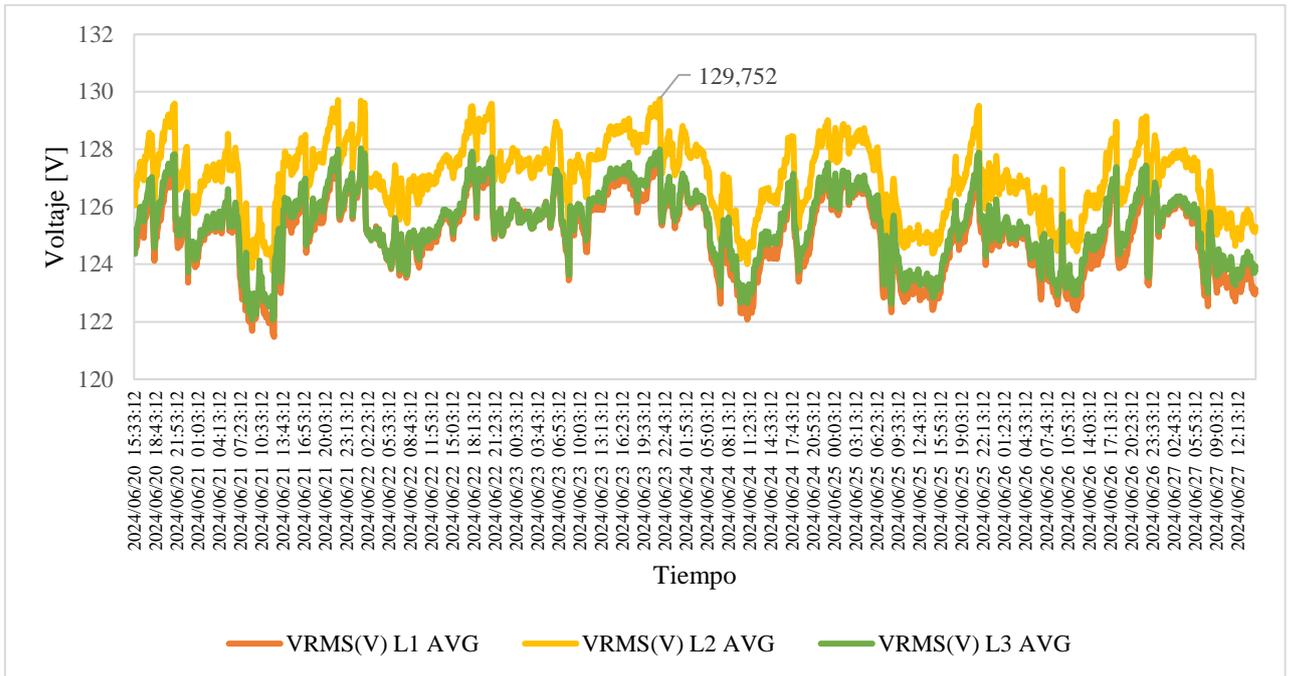


Figura 22. Perfil de Voltaje del Edificio de Química/Eléctrica.

Transformador Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Como se observa, en la Figura 23, se presentan los patrones de la curva del parámetro de voltaje obtenida, los cuales muestran valores que se mantienen constantes hasta que se produce una caída de voltaje a 0,16 V respecto al valor nominal esta caída tiene una duración promedio de 20 minutos. Además, es necesario considerar la posibilidad de una desconexión o una falla en el transformador como causa de esta caída.

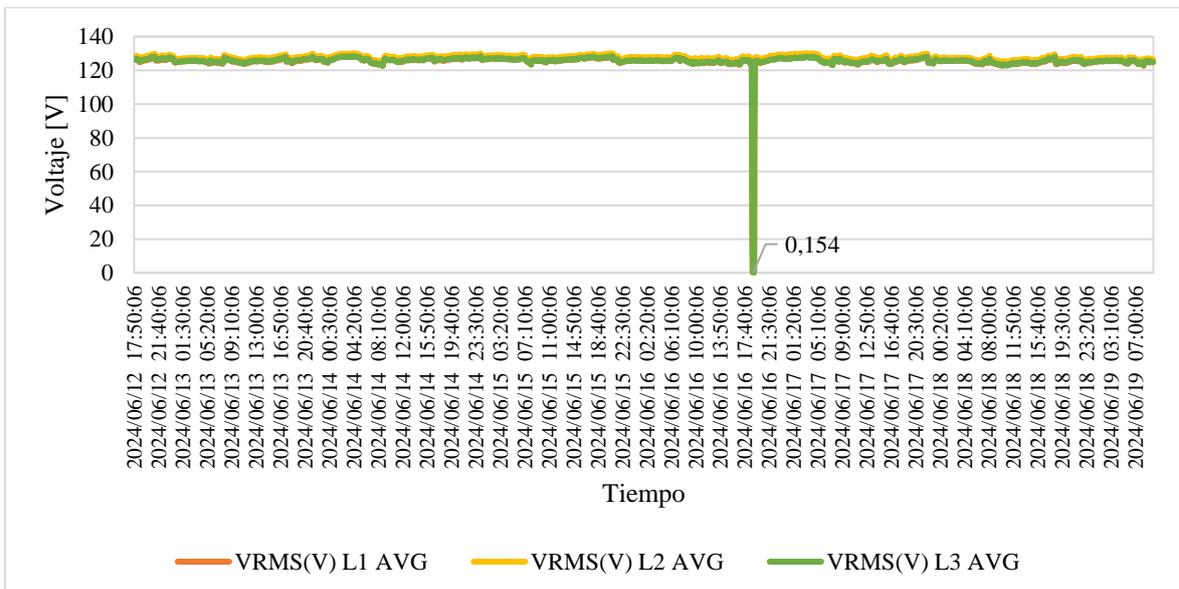


Figura 23. Perfil de Voltaje de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

4.1.2 Perfiles de Corriente (RMS)

Transformador Formación Básica y Aulas de Ingeniería Mecánica.

En la Figura 24, se presenta la curva de comportamiento de las corrientes del transformador, donde se observa que la correspondiente a la Fase B (L2) es significativamente menor, lo que indica un desbalance de cargas. A diferencia de la Fase A y Fase C (L1 y L3), que muestran un comportamiento típico de la corriente, con picos no mayores a los 50,8 A.

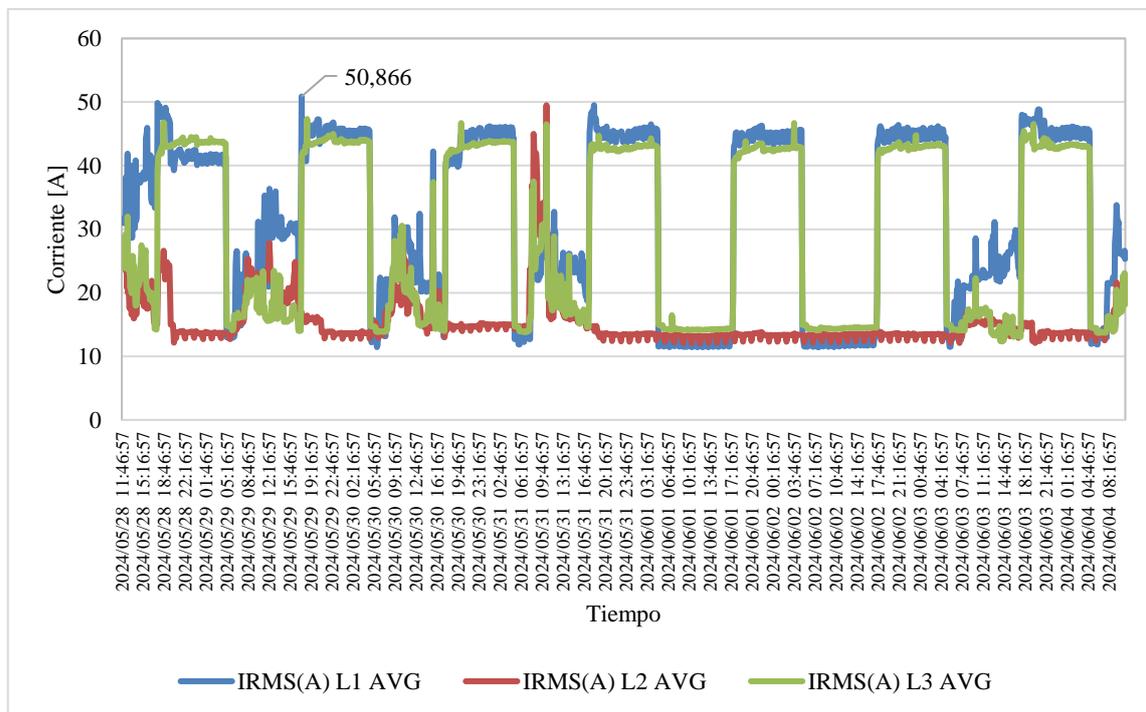


Figura 24. Perfil de Corriente Departamento de Formación Básica y Aulas de Ingeniería Mecánica.

Transformador de la Facultad de Ingeniería Mecánica (Laboratorios)

Como se observa, en la Figura 25, se presenta el comportamiento de las corrientes de las diferentes fases del transformador mostrando picos de corriente alrededor de los 200 A, atribuibles a la conexión de cargas pesadas o al arranque de motores. Estas curvas reflejan un comportamiento normal, dado que este transformador alimenta las cargas de laboratorios específicos de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

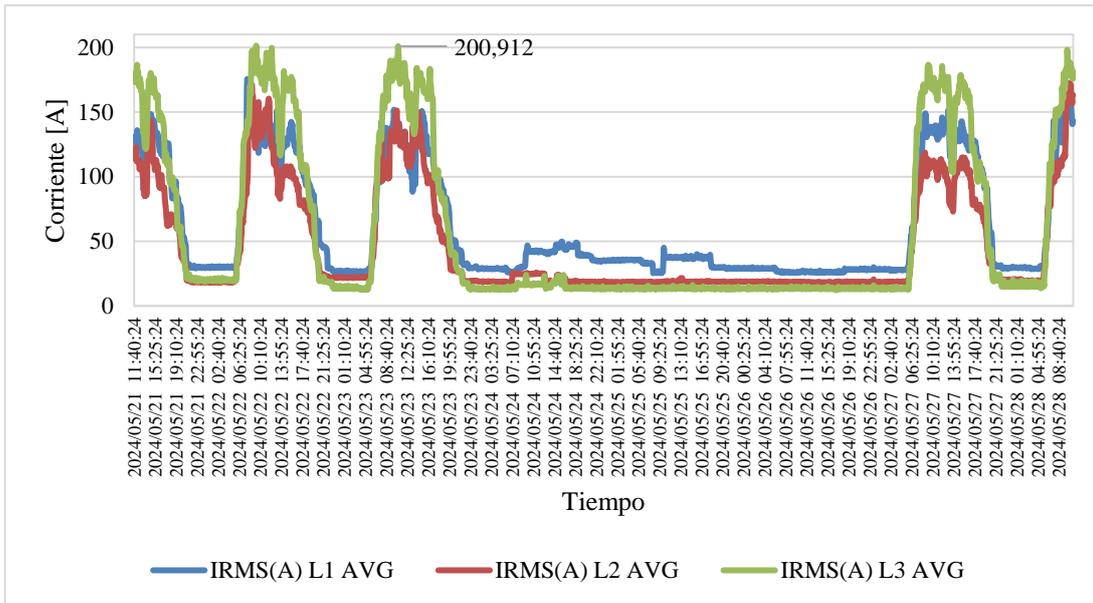


Figura 25. Perfil de Corriente Facultad de Ingeniería Mecánica

Transformador Edificio Química/Eléctrica.

Como se observa en la Figura 26, se presenta la distribución de la corriente en cada una de las fases del transformador y su comportamiento. Se evidencian picos de corriente en el rango de 250-300 A debido a la conexión de cargas pesadas (equipos industriales) o el arranque de motores. Esta conducta se ha vuelto más regular desde que ciertos laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica se trasladaron a las antiguas bodegas de la Universal, ubicadas junto al Campus de la Escuela Politécnica Nacional, conectándose con el transformador del Edificio de Química/Eléctrica.

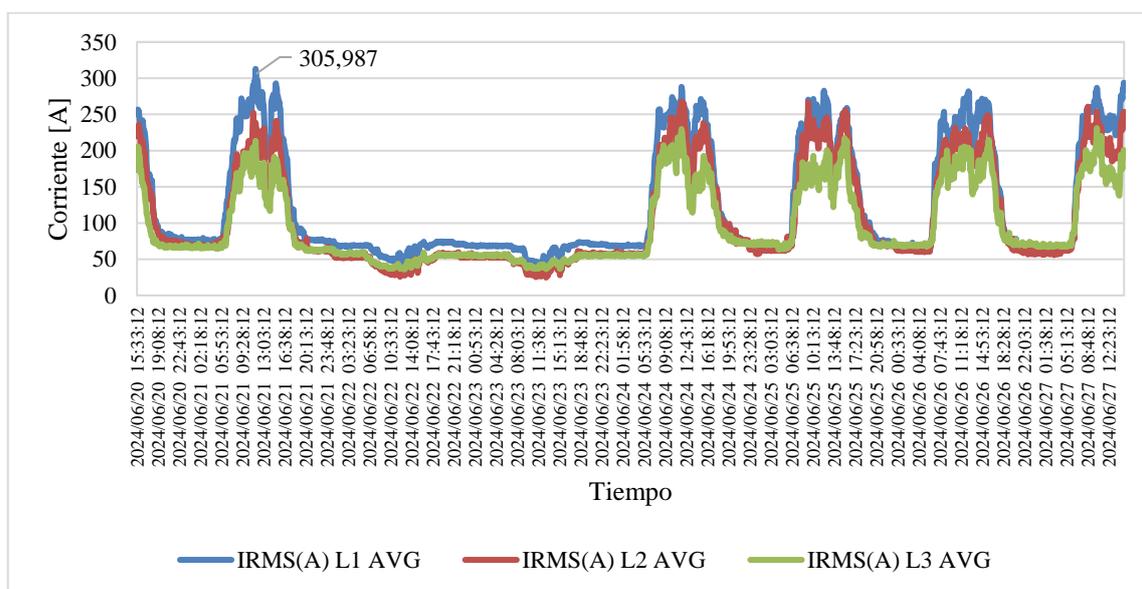


Figura 26. Perfil de Corriente del Edificio de Química/Eléctrica.

Transformador Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Como se observa en la Figura 27, las curvas de corriente obtenidas de la medición del transformador revelan que el mayor pico de corriente se presenta en la Fase C (L3), alcanzando aproximadamente 83 A a las 11:00 am, coincidiendo con el mayor consumo general de la Escuela Politécnica Nacional. Adicionalmente, se observan sub-picos de corriente que podrían haber sido ocasionados por variaciones transitorias, como cambios de tensión mostrados en la Figura 20, o una breve interrupción de energía que momentáneamente afectó el flujo de corriente eléctrica.

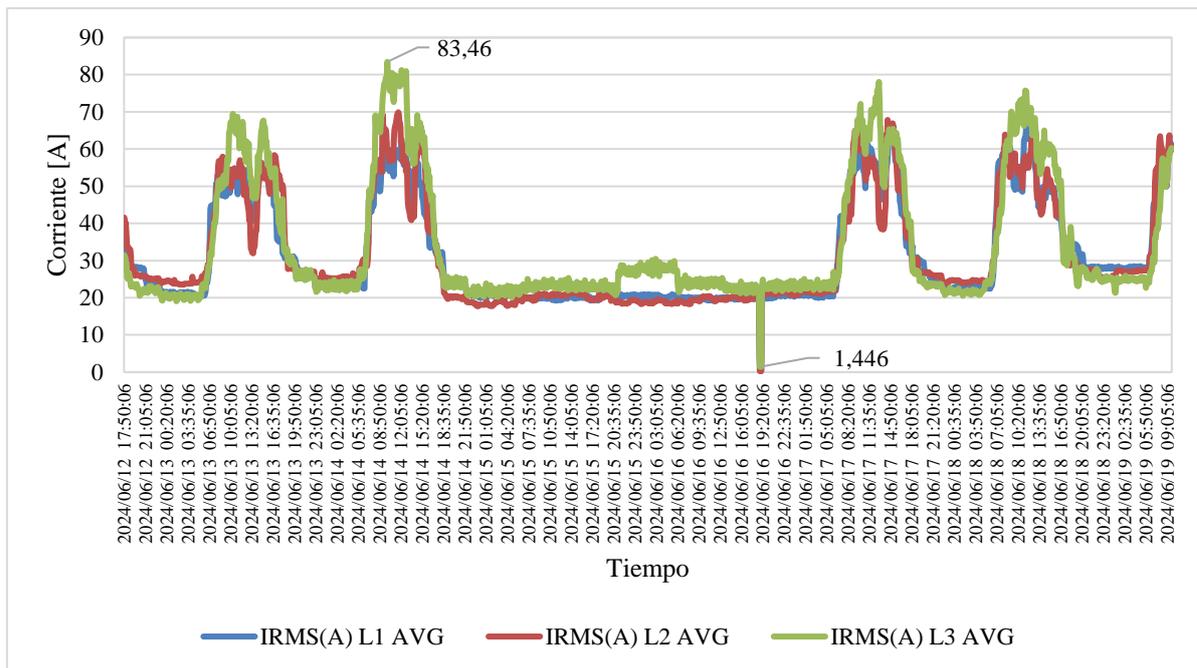


Figura 27. Perfil de Corriente de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

4.1.3 Perfiles de Carga (Curva de Demanda Media)

Transformador Formación Básica y Aulas de Ingeniería Mecánica.

En base a la Figura 28, se presenta la curva de demanda media, donde se observa que los picos de mayor consumo de energía alcanzan un valor máximo de 16.7 kW alrededor de las 11:00 am. Asimismo, se identifican valles de 0.9 kW en dos días específicos, atribuibles a la menor actividad registrada durante esos días, que coinciden con un feriado en el cual no se realizaron actividades normales dentro de la Escuela Politécnica Nacional.

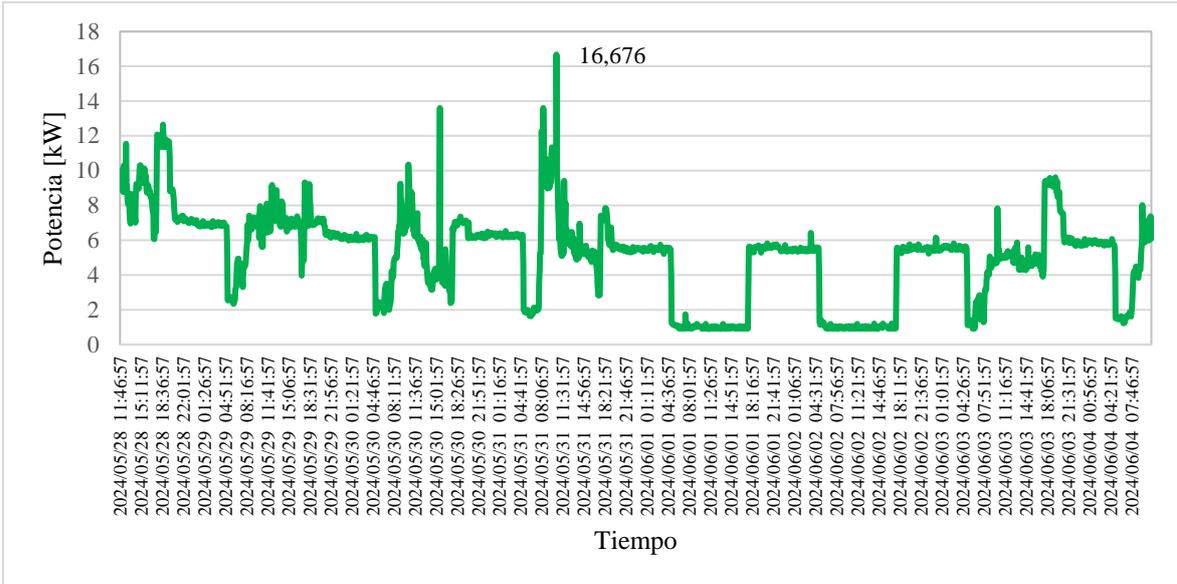


Figura 28. Perfil de Curva de Demanda del Departamento de Formación Básica y Aulas de Ingeniería Mecánica.

Transformador de la Facultad de Ingeniería Mecánica (Laboratorios)

Como se muestra en la Figura 29, la curva de demanda presenta un comportamiento estable sin evidencias de anomalías ni eventos significativos, como picos o caídas abruptas de potencia, en el registro realizado por la medición. Esta estabilidad sugiere un funcionamiento normal del transformador, sin fluctuaciones notables que podrían indicar problemas operativos o interrupciones en el suministro eléctrico.

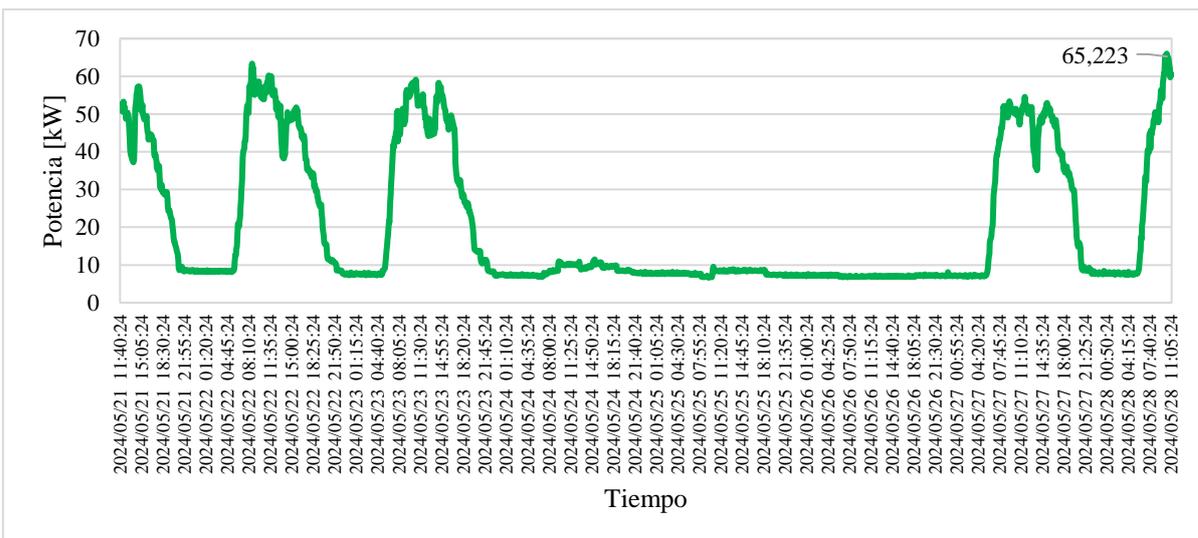


Figura 29. Perfil de Curva de Demanda de la Facultad de Ingeniería Mecánica

Transformador Edificio Química/Eléctrica.

Como se muestra en la Figura 30, la curva de demanda exhibe patrones de potencia característicos durante el periodo de alta coincidencia de carga, que se define entre las 10:00 y las 11:00 am, con valores que oscilan entre 80 y 94 kW. Durante la noche se observan valles con valores mínimos de 1.32 kW, este comportamiento refleja el ciclo típico de consumo de la red eléctrica, con picos durante las horas de mayor actividad y mínimos durante las horas nocturnas.

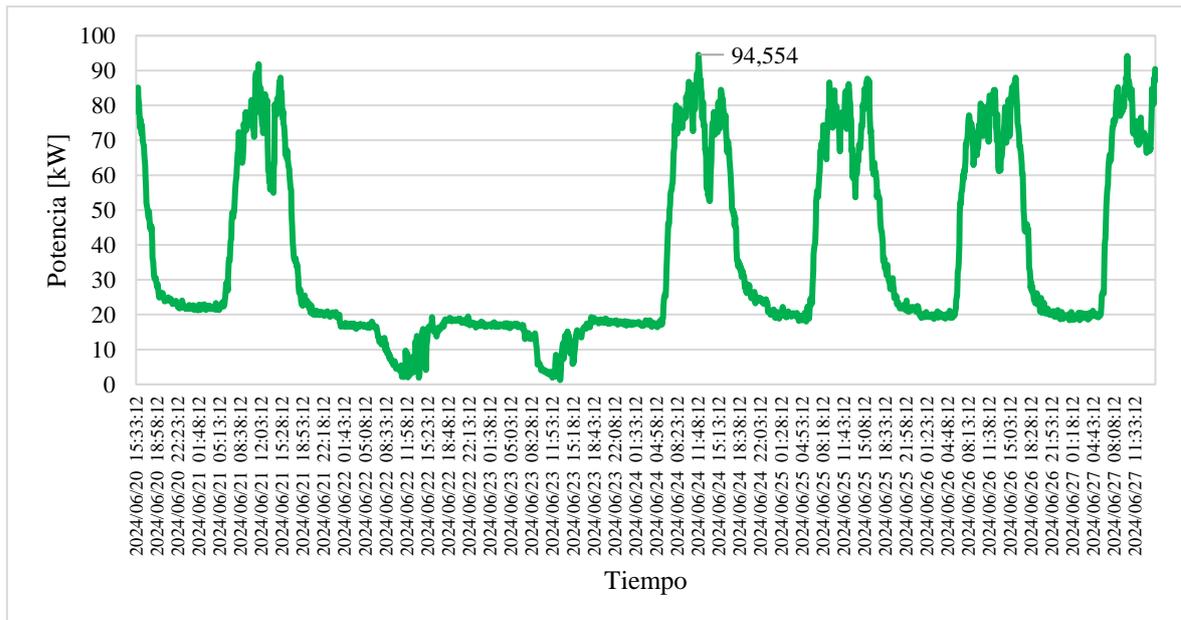


Figura 30. Perfil de Curva de Demanda del Edificio de Química/Eléctrica.

Transformador Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Como se muestra en la Figura 31, la curva de demanda usual presenta una anomalía significativa, también identificada en los perfiles de corriente y voltaje del transformador. Esta anomalía se manifiesta como una caída abrupta en la potencia, lo cual sugiere la ocurrencia de una falla o una desconexión eléctrica. Esta información es crucial para el análisis y diagnóstico del estado operativo de la red eléctrica, indicando posibles áreas de mejora en la fiabilidad del suministro.

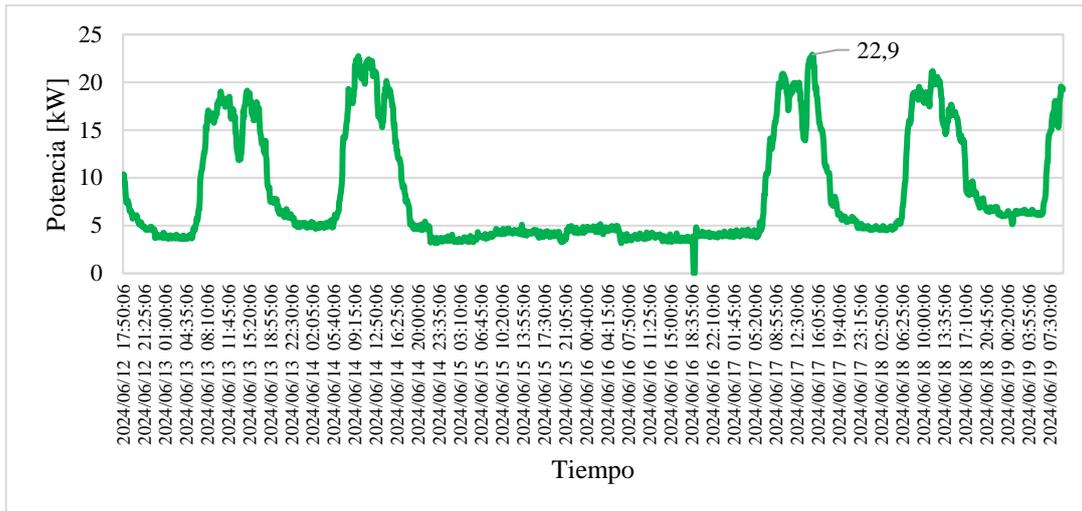


Figura 31. Perfil de Curva de Demandade la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

4.1.4 Perfil de Carga Máxima (Transformador).

Transformador Formación Básica y Aulas de Ingeniería Mecánica.

Según la Figura 32, la curva de potencia aparente máxima del transformador muestra un pico de 71 kVA. Este valor representa el 35.5% de la capacidad nominal del transformador, que es de 200 kVA, esta relación indica que el sistema está operando dentro de los parámetros de potencia nominal, sugiriendo un funcionamiento eficiente y estable del transformador sin sobrecargas significativas. Esto es crucial para mantener la integridad y prolongar la vida útil del equipo.

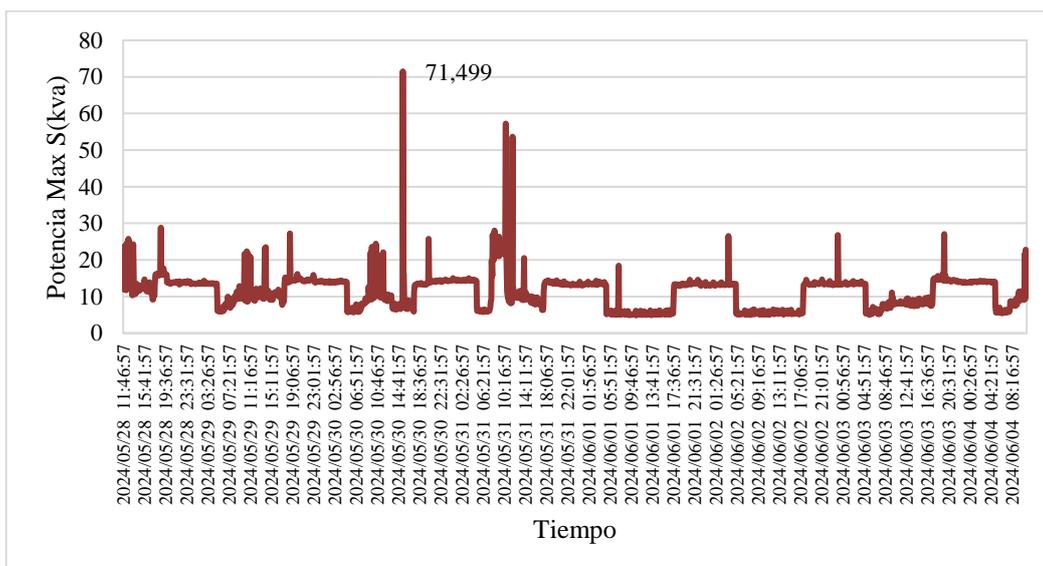


Figura 32. Perfil de Carga Máxima del Transformador del Departamento de Formación Básica y Aulas de Ingeniería Mecánica.

Transformador de la Facultad de Ingeniería Mecánica (Laboratorios)

Según se observa en la Figura 33, la curva de potencia aparente máxima del transformador muestra un pico de 100.9 kVA. Este valor representa el 89% de la capacidad nominal del transformador, que es de 112.5 kVA. Este alto porcentaje indica que el transformador está operando cerca de su límite de capacidad, lo que puede ser un signo de uso intensivo. Sin embargo, el transformador sigue funcionando dentro de los márgenes seguros, lo que sugiere que, aunque está altamente cargado, aún se mantiene dentro de los parámetros operacionales aceptables.

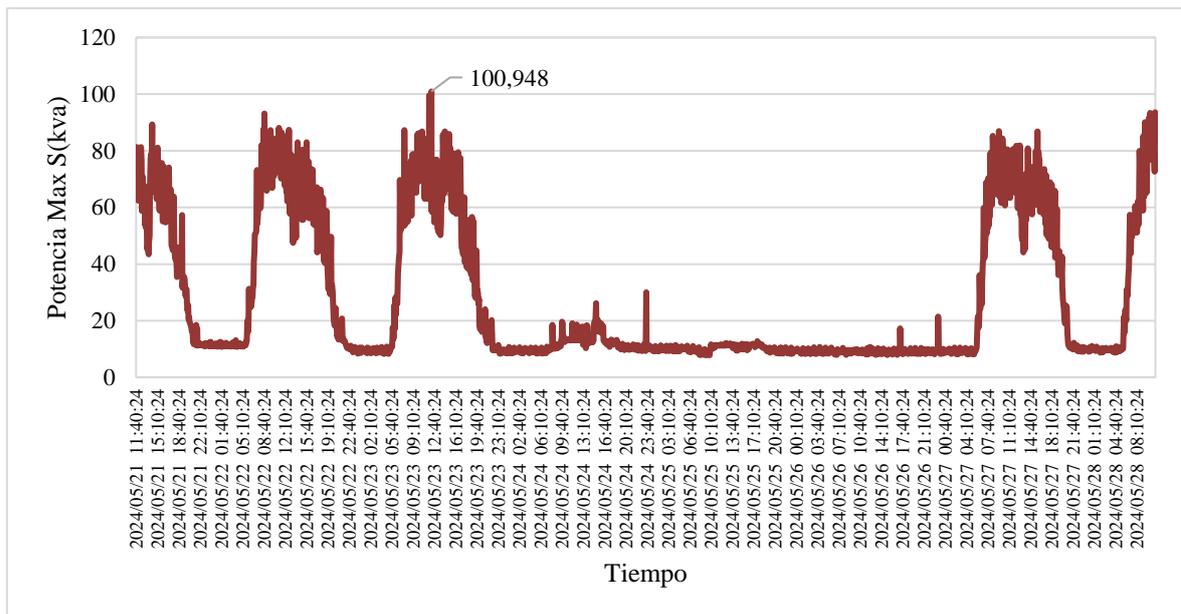


Figura 33. Perfil de Curva de Demanda de la Facultad de Ingeniería Mecánica

Transformador Edificio Química/Eléctrica.

Observando la Figura 34, se muestra la curva de potencia aparente máxima del transformador, destacando un pico de 167.2 kVA. Este valor representa el 55.7% de la capacidad nominal del transformador, que es de 300 kVA, la interpretación de estos datos indica que el transformador está operando a poco más de la mitad de su capacidad nominal, lo cual sugiere una utilización eficiente y segura, manteniéndose dentro de parámetros operativos aceptables y evitando sobrecargas potenciales.

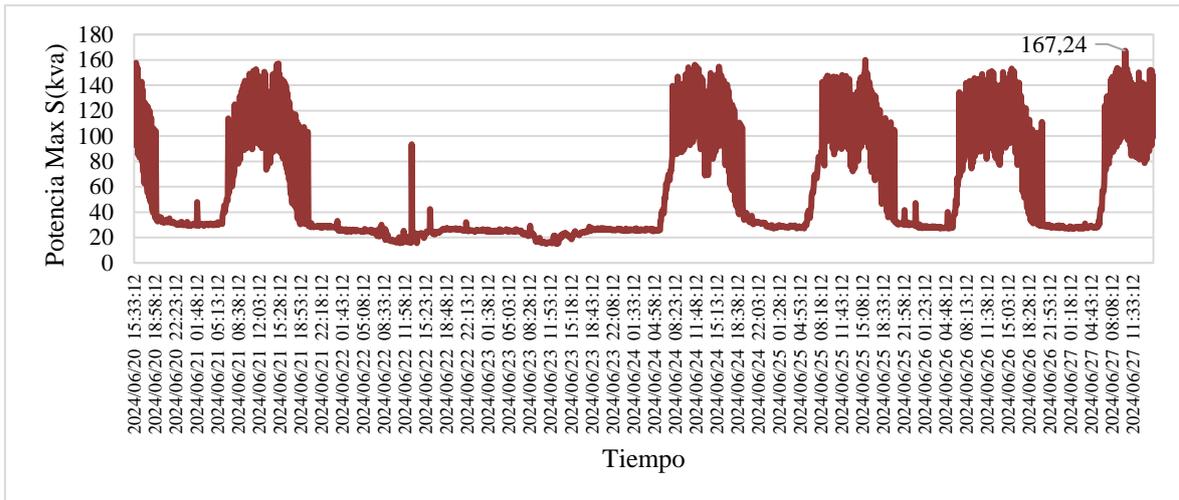


Figura 34. Perfil de Curva de Demanda del Edificio de Química/Eléctrica.

Transformador Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

En la Figura 35 se presenta la curva de potencia aparente máxima del transformador, donde se observa un pico máximo de 44.2 kVA. Este valor corresponde al 26% de la capacidad nominal del transformador, que es de 170 kVA, indicando que el transformador está subutilizado durante el pico máximo de carga. Esta situación puede no ser eficiente desde un punto de vista económico y técnico. La caída a 0.001 kVA sugiere una interrupción casi total del suministro eléctrico, lo que podría deberse a un corte de energía, una desconexión, o un fallo en el sistema de protección que provocó la desconexión de la carga.

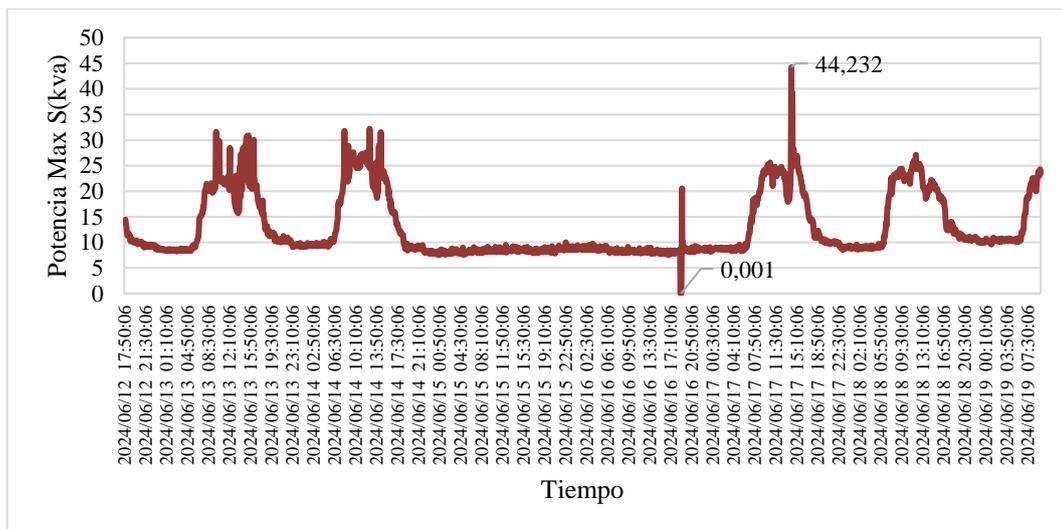


Figura 35. Perfil de Curva de Demanda de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

4.2 ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA

En redes eléctricas de distribución, las simulaciones de flujo de potencia permiten evaluar cómo se comporta la red bajo diferentes condiciones de carga. Estos análisis permiten identificar posibles cuellos de botella, pérdidas de energía y caídas de tensión fuera de límites. Los resultados de estos análisis son esenciales en actividades de planificación y operación de redes de distribución, permitiendo gestionar mejoras de la infraestructura eléctrica [20][21].

La interpretación de los resultados de flujos de potencia en redes de distribución involucra varios aspectos técnicos, primero, se considera los perfiles de voltaje a lo largo de la red, asegurándose que los niveles de tensión se mantienen dentro de límites aceptables en todos los nodos de la red. Esto es crítico para el funcionamiento adecuado de los equipos eléctricos y para minimizar las pérdidas, luego se analiza la capacidad de los conductores y transformadores para manejar las corrientes de carga sin que se produzcan sobrecargas [2].

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de simulaciones de flujos de potencia del modelo de red considerando el esquema de transferencia de carga propuesto. Se plantean dos escenarios: transferencia de carga desde el Alimentador 12-A hacia el Alimentador 32-E y transferencia de carga desde el Alimentador 32-E hacia el Alimentador 12-A.

La red de la Escuela Politécnica Nacional, considerando la implementación del tramo de primario subterráneo para el esquema de transferencia de carga propuesto, se modela en el software de CYME. En la Figura 36 se muestra el diagrama unifilar del sistema modelado.

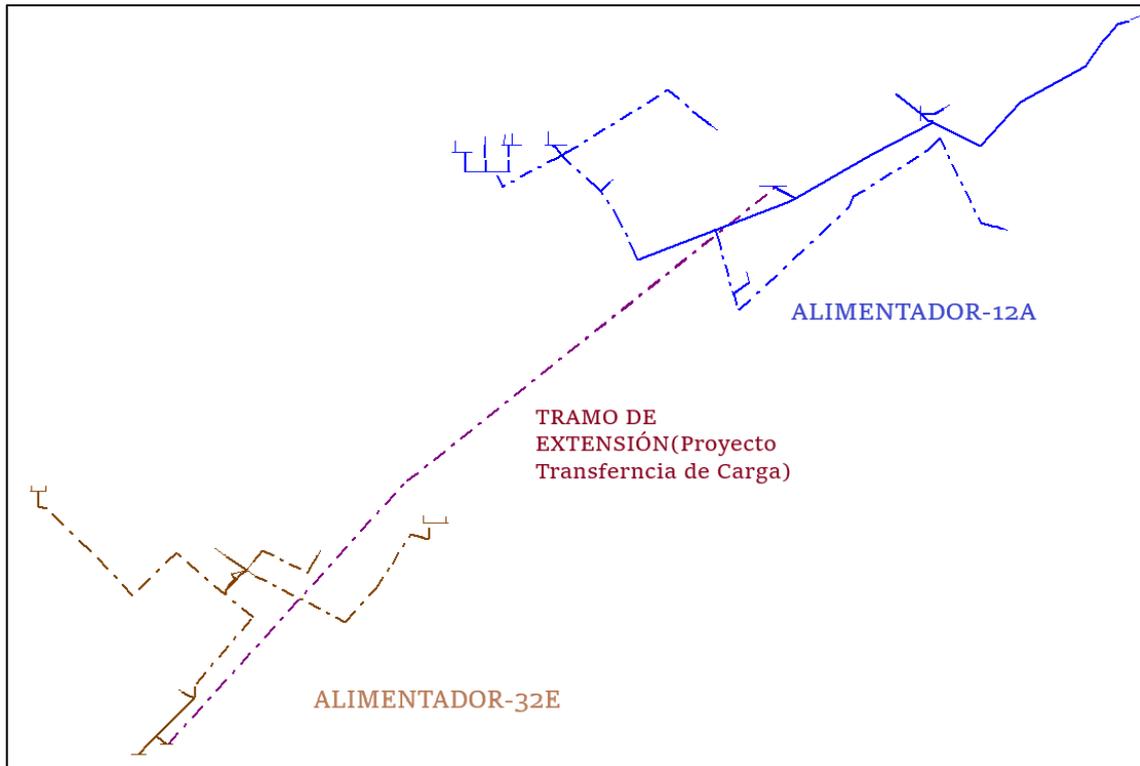


Figura 36. Esquema Unifilar modelado en CYME (Red Original-Tramo de Extensión).

Para realizar el análisis del comportamiento de la red eléctrica del Campus de la Escuela Politécnica Nacional, se utilizó el horario de demanda máxima coincidente, tomando el rango de 10:30 am a 12:00 pm. Este intervalo de tiempo fue seleccionado debido a que incluye los picos de consumo y potencia máxima en las instalaciones del Campus. Durante este período, se obtuvieron los valores más representativos y críticos de las cargas eléctricas.

El software CYME fue empleado para simular los flujos de potencia bajo dos escenarios distintos, permitiendo observar y evaluar el desempeño de la red en condiciones de máxima demanda. Los datos de carga se ingresaron en el software, utilizando los valores obtenidos de las mediciones de las distintas facultades y edificios del Campus.

Las simulaciones permitieron observar cómo la red responde a diferentes condiciones de carga y transferencias, proporcionando información valiosa para optimizar la operación del sistema de distribución del Campus. Este análisis contribuye a verificar el esquema de transferencia planteado, mismo que permite mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico, minimizando periodos de interrupciones.

4.2.1 FLUJO DE POTENCIA CON TRANSFERENCIA DE CARGA DEL ALIMENTADOR 12-A HACIA EL ALIMENTADOR 32-E.

Se realiza la simulación de flujo de potencia considerando la transferencia de carga del Alimentador 12-A hacia el Alimentador 32-E como se muestra en la siguiente figura:

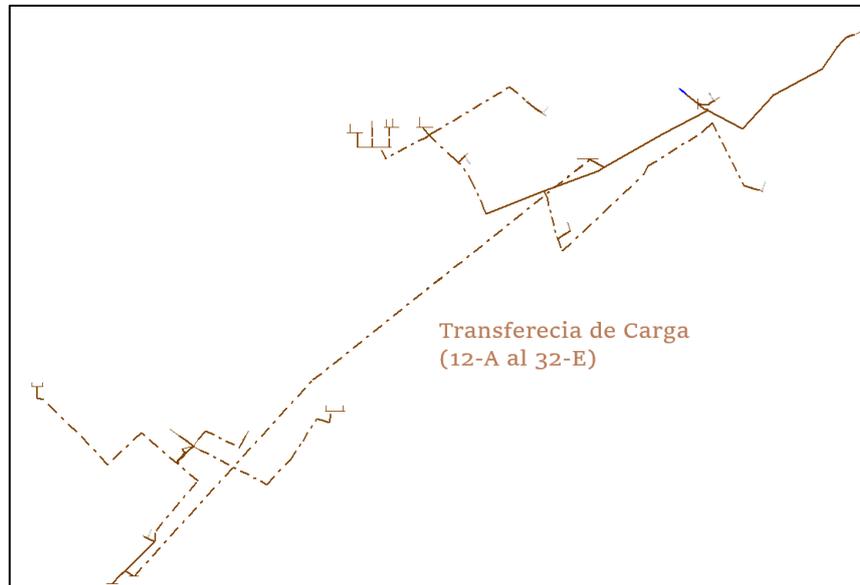


Figura 37. Esquema Unifilar modelado en CYME.

A continuación, se presentan los resultados del flujo de potencia:

Tabla 8. Resultados con transferencia de carga hacia el alimentador 32-E.

Alimentador 32_E								
	Carga total		Carga total		Pérdidas totales		Pérdidas totales	
Nombre de la red	kVA	FP (%)	kW	FP (%)	kVA	FP (%)	kW	FP (%)
AL-32E	1110.63	98.01	1088.53	98.01	42.2	46.52	19.6	46.52
Total	1110.63	98.01	1088.53	98.01	42.26	46.52	19.66	46.52
Resumen								
	Carga total		Carga total		Pérdidas totales		Pérdidas totales	
	kVA	FP (%)	kW	FP (%)	kVA	FP (%)	kW	FP (%)
Total	1110.63	98.01	1088.53	98.01	42.2	46.52	19.6	46.52

La Tabla 8 muestra resultados de Potencia Aparente del Alimentador 32-E, mostrando la capacidad que se encuentra suministrando a la red eléctrica luego de la transferencia de carga con una carga total de 1110.63 kVA con factor de potencia 0.98.

Las pérdidas observadas no son representativas y no sobrepasan el 3.8 % de la capacidad de carga total del sistema. El flujo de corriente que hay luego de la transferencia en el alimentador se muestra a continuación:

Tabla 9. Resultados con transferencia de carga hacia el alimentador 32-E

Alimentador 32-E						
Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0.974	6.1	3.5	104.4	1111	1089	220

En base a la Tabla 9, en el primario "E" de la S/E Diez Nueva (32), la demanda máxima total alcanzaría 104.4 amperios por fase. Esto representa el 17,4 % de la capacidad máxima del primario, la cual es de 600 amperios por fase. Por lo tanto, no se vería afectado el alimentador primario ya que tiene la suficiente capacidad para manejar la carga adicional por lo que se concluye que puede operar de manera segura y eficiente bajo las condiciones de carga propuestas.

4.2.2 FLUJO DE POTENCIA CON TRANSFERENCIA DE CARGA DESDE EL ALIMENTADOR 32-E HACIA EL ALIMENTADOR 12-A.

Se realiza la simulación de flujo de potencia considerando la transferencia de carga del Alimentador 32-E hacia el Alimentador 12-A como se muestra en la siguiente figura:

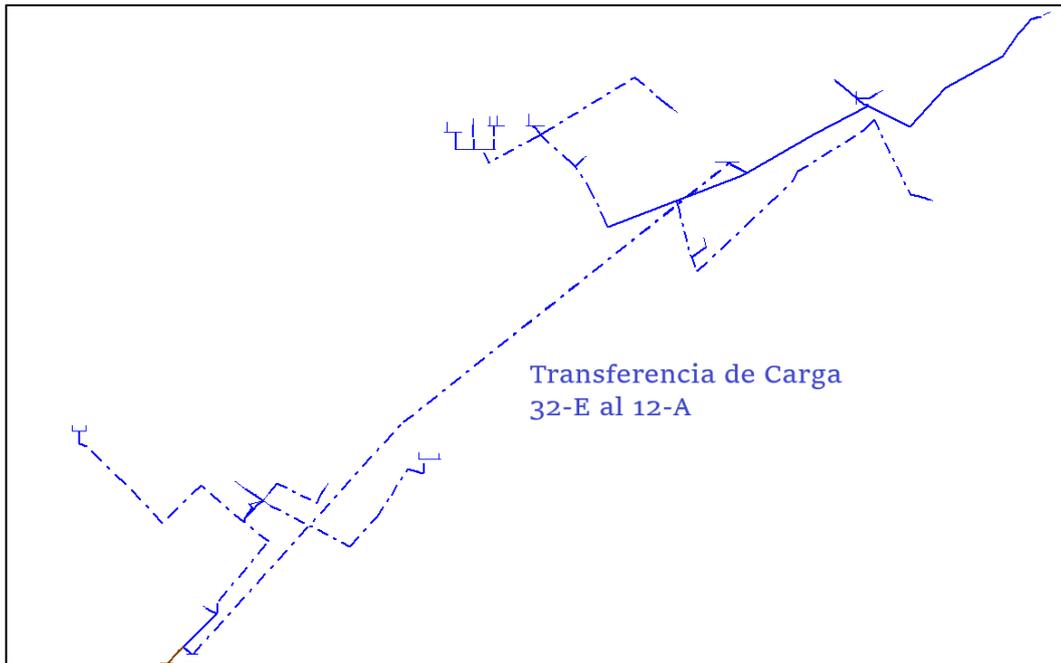


Figura 38. Esquema Unifilar modelado en CYME.

A continuación, se presentan los resultados del flujo de potencia:

Tabla 10. Resultados con transferencia de carga hacia el alimentador 12-A

Alimentador 12_A								
	Carga total		Carga total		Pérdidas totales		Pérdidas totales	
Nombre de la red	kVA	FP (%)	kW	FP (%)	kVA	FP (%)	kW	FP (%)
12A	1109.76	98.00	1087.58	98.00	42.12	44.43	18.71	44.43
Total	1109.76	98.00	1087.58	98.00	42.12	44.43	18.71	44.43
Resumen								
	Carga total		Carga total		Pérdidas totales		Pérdidas totales	
	kVA	FP (%)	kW	FP (%)	kVA	FP (%)	kW	FP (%)
Total	1109.76	98.00	1087.58	98.00	42.12	44.43	18.71	44.43

Se puede observar que la potencia aparente del Alimentador 12-A alcanza un valor total de 1109.76 kVA con un factor de potencia de 0.98.

Las pérdidas no son representativas ya que no sobrepasan el 3.8 % de la capacidad de carga total del sistema. El flujo de corriente que hay en el alimentador luego de la transferencia se muestra a continuación:

Tabla 11. Resultados con transferencia de carga hacia el alimentador 12-A

Alimentador 12-A						
Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0.986	6.2	3.6	103.1	1110	1088	221

En base a la Tabla 11, en el primario "A" de la S/E La Floresta (12), la demanda máxima total alcanzaría 103.1 amperios por fase, esto representaría 17,18 % de la capacidad máxima del primario, que es de 600 amperios por fase. Por lo tanto, el alimentador primario tiene suficiente capacidad para manejar la carga adicional, esto sugiere que la propuesta de transferencia de carga es viable desde un punto de vista técnico y no compromete la integridad del sistema eléctrico.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Mediante el estudio y los datos recopilados se propone un esquema de Transferencia de Carga en la red eléctrica del Campus de la Escuela Politécnica Nacional, mismo que permitirá que sus diferentes cargas mantengan un normal abastecimiento en caso de que haya racionamientos de energía, aumentando la confiabilidad del sistema eléctrico, lo que contribuye al normal desarrollo de las actividades cotidianas de la institución.
- Los costos y precios considerados en la evaluación del presupuesto requerido para la construcción del esquema de transferencia de carga responden a valores de mercado que actualmente manejan las empresas distribuidoras de energía eléctrica de Ecuador. Para la ejecución del proyecto se debe contratar una empresa especializada en la construcción de redes subterráneas debidamente calificada en la Empresa Eléctrica Quito.
- La información generada y los resultados obtenidos permite establecer la factibilidad del proyecto del esquema de transferencia de carga en la red de distribución del Campus Politécnico. El diseño presentado optimiza el uso de la infraestructura existente, minimizando la necesidad de modificaciones significativas y reduciendo los costos de implementación. El esquema de transferencia de carga mejora la resiliencia de la red eléctrica del Campus, proporcionando una mayor capacidad para manejar picos de demanda y posibles fallas en uno de los alimentadores.
- La construcción del esquema de transferencia de carga en el Campus de la Escuela Politécnica Nacional representa una inversión estratégica para mitigar los racionamientos y cortes de energía que el país experimenta periódicamente. Este proyecto no solo asegura una mayor continuidad del suministro eléctrico en momentos de interrupción, sino que también facilita la gestión interna de la carga del Campus. Además, la infraestructura a ser implementada podría permitir la integración de fuentes de generación, preferentemente renovables, posicionando a la Escuela Politécnica Nacional como líder en la implementación de soluciones energéticas sostenibles.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para asegurar la vida útil y el funcionamiento óptimo del sistema de transferencia de carga, es crucial desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo. Este plan debe incluir inspecciones regulares, pruebas de rendimiento, y actualizaciones del sistema según las necesidades tecnológicas y operativas, un enfoque proactivo en el mantenimiento permitirá identificar y resolver problemas antes de que se conviertan en fallos mayores, garantizando la fiabilidad continua del suministro eléctrico y la seguridad de las instalaciones.
- Se recomienda que, al contratar a una empresa constructora para la ejecución del proyecto, se priorice aquella con experiencia comprobada en la implementación de soluciones sostenibles y eficientes energéticamente, la empresa seleccionada debe gestionar todas las adquisiciones necesarias y cumplir con los trámites requeridos por la Empresa Eléctrica Quito.
- Se recomienda realizar programas de formación continua para el personal técnico y de mantenimiento de la universidad, que involucren aspectos fundamentales de la operación y mantenimiento del nuevo sistema de transferencia de carga, así como las mejores prácticas en gestión de energía y sostenibilidad. La formación adecuada asegurará que el personal esté preparado para gestionar de manera eficiente el sistema, responder a emergencias y contribuir activamente a la mejora continua de la red eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Samuel Ramirez Castaño, *Demanda de energía eléctrica.*, Tercera. 1993.
- [2] N. Hadjsaïd and J.-C. Sabonnadière, *Electrical Distribution Networks*. Wiley, 2013.
- [3] V. V. Reddy, G. Yesuratnam, and M. S. Kalavathi, "Impact of voltage and power factor change on primary distribution feeder power loss in radial and loop type of feeders," *Proc. - ICETEEEM 2012, Int. Conf. Emerg. Trends Electr. Eng. Energy Manag.*, pp. 70–76, 2012, doi: 10.1109/ICETEEEM.2012.6494446.
- [4] P. Jirapong, P. Bunchoo, P. Thararak, A. Supannon, and S. Burana, "Effect of upgrading primary feeders from radial to loop arrangement on electrical distribution system performance," *ECTI-CON 2015 - 2015 12th Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Telecommun. Inf. Technol.*, Aug. 2015, doi: 10.1109/ECTICON.2015.7207010.
- [5] C. Radhika and P. K. Bharathan, "Automatic load transfer in electrical power system (In ring electrical network)," *Proc. 2015 IEEE Int. Conf. Power, Instrumentation, Control Comput. PICC 2015*, Apr. 2016, doi: 10.1109/PICC.2015.7455766.
- [6] S. Kucuk and M. Sarihan, "Comparison and simulation of Automatic load Transfer of critical industrial electrical systems," *2017 4th Int. Conf. Electr. Electron. Eng. ICEEE 2017*, pp. 170–176, May 2017, doi: 10.1109/ICEEE2.2017.7935814.
- [7] M. E. Viotto Romero, L. G. Wesz Da Silva, and J. R. S. Mantovani, "Optimal switch allocation for automatic load transfer in distribution substations," *2011 IEEE PES Trondheim PowerTech Power Technol. a Sustain. Soc. POWERTECH 2011*, 2011, doi: 10.1109/PTC.2011.6019208.
- [8] ARCONEL, "Regulación No. CONELEC 004/01 1," pp. 1–18, 2012.
- [9] Empresa Eléctrica Quito, "WEBGIS-Geoportal EEQ."
<https://geoportal.eeq.com.ec/webgis/> (accessed Jul. 09, 2024).
- [10] PeakTech, "PeakTech 4145 - Analizador de Redes Eléctricas Trifásicas," 2023.
<https://peaktech-rce.com/es/analizadores-de-redes-electricas/436-peaktech-4145-analizador-de-redes-electricas-trifasicas.html> (accessed Jul. 09, 2024).
- [11] EATON, "CYME Software." 2005, [Online]. Available:
<https://www.cyme.com/es/software/>.

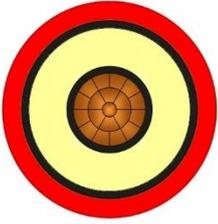
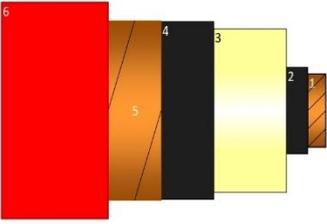
- [12] D. Díaz, “Estudio Para Integración De Equipos Localizadores De Falla Y Reconectores Con El Propósito De Mejorar La Calidad De Servicio Técnico Para Los Usuarios De La Zona li De Emelnorte S.a.,” EPN, 2020.
- [13] “Aparamenta modular encapsulada de metal de la serie HMH | Descripción general | Eaton,” 2024. <https://www.eaton.com/ar/es-mx/catalog/medium-voltage-power-distribution-control-systems/ulusoy-hmh.html>.
- [14] J. Jhonatan and O. Vargas, “Diseño e implementación de generación de energía a través de un sistema fotovoltaico y grupo electrógeno de combustión diésel para una antena de telecomunicaciones, Loreto 2020,” Universidad Tecnológica del Perú, 2021.
- [15] F. CANO, “Generador Ss Lsk14s 14kv 120/240v.” <https://www.ocompra.com/ecuador/item/generador-ss-lsk14s-14kv-120-240v-572169546/> (accessed Jul. 09, 2024).
- [16] “Pramac GSW120 120 KVA - 90 KW Motor DEUTZ - Generadores Electricos - Plantas de Luz Ecuador Sudamerica.” <https://www.codesolar.com/Energia-Solar/Energias-Renovables/Generadores-Electricos/Pramac-GSW120-Generador-Electrico-Diesel.html> (accessed Jul. 09, 2024).
- [17] MAQUITEC, “Planta Eléctrica Diésel Cabinada AOSIF 30kVA 127/220V 3F AX-30 SILENT | Maquitec de Colombia.” <https://maquitecdecolombia.com/compra-de/generador/generador-cabinado/planta-electrica-diesel-cabinada-aosif-30kva-127-220v-3f-ax-30-silent/> (accessed Jul. 09, 2024).
- [18] E. Alverca and E. Pareja, “Mejoramiento, Readeacuación E Implementación Del Sistema Eléctrico Y Puesta a Tierra En La ‘Escuela Fiscal Mixta Humberto Vacas Gomez’.” EPN, 2013.
- [19] L. C. GUEVAR VARGAS, “ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN INTELIGENTE EN LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN DEL ECUADOR,” EPN, 2023.
- [20] C. M. Montecinos Muñoz, “FLUJO DE POTENCIA TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN,” Pontificia Universidad Católica de Chile, 1989.
- [21] A. Gabash and P. Li, “Active-reactive optimal power flow in distribution networks with embedded generation and battery storage,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 4, pp. 2026–2035, 2012, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2187315.

7 ANEXOS

ANEXO I: Ficha Técnica -Conductor aislado de polietileno reticulado.

Fecha de Edición / Edition Date 22/06/2021

Revisión / Review 1

DATOS TÉCNICOS TECHNICAL DATA		XLPE Cu 1/0AWG 15kV100% PC PVC SR ECU RJ				Código/Code 6902115530100011XX			
CORTE TRANSVERSAL CROSS-SECTION		DIAGRAMAS Y DIBUJOS EN 3D VISTA LONGITUDINAL LONGITUDINAL VIEW						208674	
								DIMICAB by Centelsa	
Software DIMICAB, desarrollado por CENTELSA - VIAKABLE / DIMICAB software, developed by CENTELSA - VIAKABLE									
Los dibujos son una representación aproximada del producto. / The drawings are an approximate representation of the product.									
Características de materiales de construcción y dimensiones. / Characteristics of building materials and dimensions.									
Conductor Fase / Phase Conductor									
1. Conductor Fase Phase Conductor	Material/Norma Material/Standard	Calibre Size	Área Cross Section	Clase Cableado Stranding Class	N° Hilos N° Strands	Resistencia - DC 20°C/68°F (Nom)	Resistencia - AC 90°C/194°F	Carga Rotura Tensile Strength	Corri. de CC(1s) Short Circuit Current (1s)
	Cu ASTM B496	1/0 AWG	53,5 mm ² 106 kcmils	B	18 "Min"	0,3287 ohm/km 0,1002 ohm/kft	0,4278 ohm/km 0,1304 ohm/kft	1184 kg 2610 lb	7,618 kA
2. Blindaje sobre Conductor Conductor Shield	Material Material		Área Cross Section			Resistencia - DC 20°C/68°F (Nom)		Espesor Thickness	Diámetro Diameter
	XLPE Semiconductor Extruido Extruded Semicon XLPE		106 kcmils			0,3287 ohm/km 0,1002 ohm/kft		0,15 mm (Min) 6 mils (min)	10,12 mm 398 mils
3. Aislamiento Insulation	Norma Técnica Standard	Material Material	R .Aisl./ Insul.Resi. 15,6°C/Min	Temperatura Temperature	Tensión Nominal Rated Voltage	Tensión Prueba Test Voltage	Gradiente Tensión Voltage Gradient	Espesor Thickness	Diámetro Diameter
	ICEA S-93-639	XLPE	1681 Mohm-km 5515 Mohm-kft	90 °C 194 °F	15 kV 100%	35 AC kV 8,66 DC kV	2,69 kV/mm 68,44 V/mils	4,44 mm (Nom) 175 mils (Nom)	19,1 mm 752 mils
4. Blindaje sobre Aislamiento Conductor Shield	Material Material		Área Cross Section			Resistencia - DC 20°C/68°F (Nom)		Espesor Thickness	Diámetro Diameter
	XLPE Semiconductor Extruido Removable Stripable Extruded Semicon XLPE		106 kcmils			0,3287 ohm/km 0,1002 ohm/kft		0,68 mm (Min) 27 mils (min)	20,78 mm 818 mils
5. Cinta Tape	Material Material	Aplicación Application	Resistencia Resistance	Corri. de CC(1s) Short Circuit Current (1s)	Traslape Overlap	Espesor Thickness	Diámetro Diameter		
	Cu	Cerrada Closed	5,67 ohm/km 1,73 ohm/kft	0,49 kA	15%	0,064 mm 2,5 mils	20,97 mm 826 mils		
6. Chaqueta General General Jacket	Material Material	Norma Técnica Standard	Color Color		Espesor Thickness		Diámetro Diameter		
	PVC SR	ICEA S-93-639	Rojo Red		1,78 mm - (Min) 70,1 mils - (Min)		25,25 mm 994 mils		
Información General / General Information									
General	Peso Total Aproximado Approximate Total Weight	Ampacidad Ampacity	Inductance Capacitance	Reactance Induct/Capacit	Tensión Halado Pulling Tension	Radio de Curvatura Bending Radius	Presión Lateral Sidewall Pressure	Diámetro Diameter	
	1022 kg/km	200 A	0,411 mH/km	0,155 ohm/km	375 kg-Conduc 109 kg-Chaq.	303 mm	744 kg/m	25,25 mm	
General	687 lb/1000ft		201,17 pF/m	13,186 kohm-km	827 lb-Conduc 240 lb-Jacket	11,93"	500 lb/ft	0,99"	
Nota: Criterios de ampacidad: NEC, Tabla 310.60(C)(7)(I)/(7)(8), Tc: 90°C, Tierra: 20°C, 3 conductores en ducto eléctrico subterráneo Note: Criterial of Ampacity: NEC, Table 310.60(C)(7)(I)/(7)(8), Tc: 90°C, Tground: 20°C, Three Conductors per Electrical Duct									
Marcación / Marking									
Impresión Relieve o Tinta Embossment or Ink Printed	CENTELSA XLPE Cu 90°C 1/0 AWG 15 kV 100% PC PVC SR - COLOMBIA								
Nota: Leyendas a intervalos Máximos de: 1 m / Note: The length between legends of Marks is: 1 m									
Empaque / Package									
Tipo de Empaque Package Type	Carrete N° Reel Ref.	Longitud Length	Diámetro Externo External Diameter	Diámetro Tambor Drum Diameter	Ancho Width	Peso Bruto Gross Weight			
Bobina Reel	B3014HI	1000 m 3281 ft	1400,0 mm 55,12"	650,0 mm 25,59"	914,0 mm 35,98"	1205 kg 2656 lb			
Observaciones y/o Desviaciones // Observations and/or Deviations									
Los valores aquí indicados están sujetos a las tolerancias normales de manufactura y/o de normas. / Values here indicated are subject to normal manufacturing and/or standards tolerances.									
Los Medidores de longitud de CENTELSA, son de Precisión Clase II, cuyo error máximo permitido de la longitud medida es del 0.5% (Nota: clase I=±0.25%, clase II=±0.5%, clase III=±1.0%) Meters CENTELSA length, are of precision Class II, whose maximum permissible error of the measured length is 0.5% (Note: Class I = ± 0.25%, Class II = ± 0.5%, class III = ± 1.0%)									